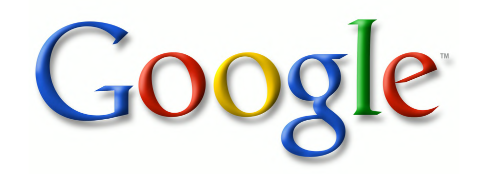
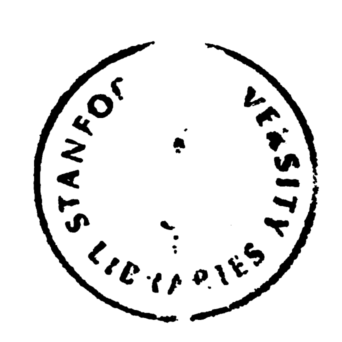
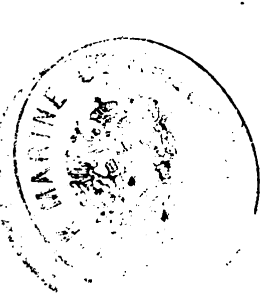








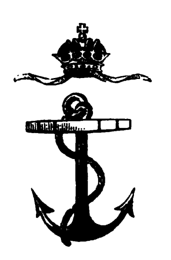
Artillerie-Unterricht

für die

k. k. Kriegs-Marine.

Auf dienstliche Veranlassung gedruckt.

II. Theil.



K.K. SEE-ARSENAL

DIENSTBÜCHER - VERWALTUNG

1881.

Buchdruckerei von Ig. v. Kleinmayr & Fed. Bamberg in Laibach.

Inhalt.

Erster Abschnitt.

Explosive Präparate.

Zweiter Abschnitt.

Einrichtung der Geschosse. 68

Dritter Abschnitt.

Einrichtung der Geschützrohre.

Vierter Abschnitt.

Innere Ballistik.

Fünfter Abschnitt.

Aeussere Ballistik.

Erster Abschnitt.

Explosive Präparate.

I. Allgemeines.

Explosive Präparate nennt man solche Substanzen, welche sich infolge äusserer, mechanischer Einwirkungen (Stösse, Schläge, Erschütterungen, directe Zufuhr von Wärme — Steigerung der Temperatur überhaupt) momentan zersetzen und dabei Zersetzungsproducte bilden, welche sämmtlich oder grossentheils in Gasform auftreten. Die gasförmigen Producte der Explosion üben vermöge ihres Expansionsbestrebens einen grossen Druck auf die Umschliessungswände des Präparates aus und sind daher geeignet, zur Leistung von Arbeit verwendet zu werden.

Die Explosion ist sohin eine sich in sehr kurzer Zeit vollziehende chemische Reaction. Bei derselben sind im Allgemeinen zwei Momente zu unterscheiden: die Zersetzung der ursprünglichen, im Präparat enthaltenen chemischen Verbindungen und die Bildung von neuen Producten. Der erstere Vorgang ist von Wärmeverlusten begleitet, während der letztere eine weitaus grössere Wärmemenge liefert; der Ueberschuss dieser letzteren über den Wärmeverlust ist die bei der Explosion frei gewordene Wärme, welche die Temperatur der Zersetzungsproducte ausserordentlich steigert. Die Explosion ist daher in der Regel von einer Feuererscheinung begleitet.

a) Factoren des Gasdruckes.

Die Factoren, welche auf die Grösse des Gasdruckes eines explodirenden Präparates Einfluss nehmen, sind:

1.) Die *Menge der Gase.* Je grösser das Verhältniss der gasförmigen Producte der Zersetzung zu den in fester Form erscheinenden ist, desto grösser wird (abgesehen von allen übrigen Umständen)

der Druck auf die Umschliessungswände sein. Die festen Producte nennt man den Rückstand des Präparates. Wenn man zwei Präparate mit einander vergleicht, so wird unter sonst gleichen Umständen dasjenige als wirksamer erscheinen, welches einen kleineren Rückstand hinterlässt; das wirksamste Präparat wird daher jenes sein, bei welchem eine vollständige Auflösung in Gas (Dissociation) eintritt und der Rückstand $= 0$ ist.

2.) Das *specifische Gewicht der Gase.* Je kleiner das specifische Gewicht der gasförmigen Zersetzungsproducte ist, desto grösser wird (unter übrigens gleichen Umständen) der Gasdruck sein. Denn eine bestimmte Gewichtsmenge eines Gases von geringerem specifischen Gewichte nimmt bei dem Drucke $= 1$ (Eine Atmosphäre) einen grösseren Raum ein, als dieselbe Menge (das gleiche Gewicht) eines Gases von höherem specifischen Gewichte; werden nun beide Gase auf ein gleiches, kleineres Volumen zusammengedrückt, so wächst nach dem *Mariotte*'schen Gesetze der Gasdruck im Verhältnisse der Raumverminderung, daher bei ersterem Gase mehr als bei letzterem. Es ist daraus klar, dass sich die von gleichen Gewichtsmengen zweier Gase ausgeübten Drücke umgekehrt wie die specifischen Gewichte derselben verhalten werden, wenn sie auf den gleichen Raum gebracht sind.

Beispiel: Das Präparat A liefere 1 $^{k}/_{g}$ CO (Kohlenmonoxyd), das Präparat B aber 1 $^{k}/_{g}$ CO_2 (Kohlendioxyd). Das specifische Gewicht von CO, bezogen auf die atmosphärische Luft, ist 0·96, jenes von CO_2 aber 1·52. Nimmt man das Volumen von 1 $^{k}/_{g}$ atmosphärischer Luft bei 0° C. und dem Drucke von 1 Atmosphäre mit rund 770 Liter (Cubik-Decimeter) an, so wird 1 $^{k}/_{g}$ des ersten Gases CO bei dem Drucke von 1 Atmosphäre das Volumen von 802 $\bigcirc^{d}/_{m}$, 1 $^{k}/_{g}$ des zweiten Gases CO_2 aber das Volumen von 507 $\bigcirc^{d}/_{m}$ einnehmen. Werden nun beide Gase auf ein gleiches Volumen, z. B. auf 1 $\bigcirc^{d}/_{m}$ zusammengedrückt, so resultirt nach dem Mariotte'schen Gesetz für CO ein Druck von 802 Atm. und für CO_2 ein solcher von 507 Atm.

3.) Die *Temperatur der Gase.* Wird die Temperatur eines Gases erhöht, während es sich frei ausdehnen kann, so nimmt das Volumen desselben für je 1° C. Temperatursteigerung um $\alpha = \frac{1}{273}$ jenes Volumens zu, welches das Gas bei 0° C. einnehmen würde. Bedeutet also v_0 das Volumen eines Gases bei 0° C. und v sein Volumen bei t^0 C., so ist $v = v_0 + v_0 \alpha t = v_0 (1 + \alpha t)$; dabei bleibt natürlich sein Druck unverändert. Wird jedoch die Temperatur eines Gases erhöht, ohne dass es sich ausdehnen kann, so wird sein Druck für je 1° C. Temperatursteigerung um $\alpha = \frac{1}{273}$ desjenigen Druckes steigen, den es

bei 0^0 C. haben würde. Man kann sich nämlich den Vorgang so vorstellen, dass durch die Temperatursteigerung zunächst das Volumen des Gases ohne Aenderung des Druckes in dem oben angegebenen Verhältnisse vergrössert und hinterher durch Rückführung des so vergrösserten Volumens auf das ursprüngliche im Sinne des Mariotte'schen Gesetzes der Druck erhöht wird.* Hat demnach ein Gas das Volumen v und bei 0^0 C. den Druck p_0, so wird es bei demselben Volumen und t^0 C. einen Druck $p = p_0 + p_0 \alpha t = p_0(1 + \alpha t)$ haben.

Beispiel: 1 kg Kohlendioxyd nimmt bei der Temperatur 0^0 C. den Raum von 507 □dm ein und hat die Spannung von 1 Atm.; wird dieses Gas auf 1000^0 C. erwärmt, so steigt bei unverändertem Drucke von 1 Atm. sein Volumen auf $507\left(1 + \frac{1000}{273}\right) = 2364$ □dm. Dieses Gas hat bei der Temperatur 0^0 C. im Raume 1 □dm die Spannung von $p_0 = 507$ Atm. Wird seine Temperatur auf 1000^0 C. gebracht, ohne dass sich dieser Raum ändert, so steigt die Spannung auf $p = 507\left(1 + \frac{1000}{273}\right) = 2364$ Atm.

Nach diesen Gesetzen lässt sich die Zunahme des Volumens und der Spannung eines Gases leicht finden, dessen Temperatur eine Steigerung von t auf T Grade erfährt: Hat das unter constantem Drucke stehende Gas** bei der Temperatur t das Volumen v, so wird sein Volumen V bei der Temperatur T sein: $V = v\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$, denn es ist $v = v_0(1 + \alpha t)$ und $V = v_0(1 + \alpha T)$. Ist ferner p die Spannung eines Gases von constantem Volumen*** bei der Temperatur t, so wird die der Temperatur T entsprechende Spannung P sein: $P = p\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$ (Gay-Lussac'sches Gesetz).

In obigem Beispiel wurde gefunden, dass 1 kg Kohlendioxyd in dem Raume vom 1 □dm und bei der Temperatur von 1000^0 die Spannung von 2364 Atm. hat. Wird die Temperatur dieses Gases auf 3000^0 gesteigert, so würde dasselbe, in ein Gefäss von constantem Volumen = 1 □dm eingeschlossen, die Spannung von $2364\frac{1 + 3000\alpha}{1 + 1000\alpha} = 6078$ Atm. erreichen; ist hingegen in dem Gefäss ein Stempel verschiebbar, welcher auf das eingeschlossene Gas mit einem constanten Druck von 2364 Atmosphären wirkt, so würde das Gas bei seiner Erwärmung den Stempel so weit verschieben, bis das Volumen des Gefässes

* Vorausgesetzt ist dabei, dass durch diese nur erklärungsweise angenommene Rückführung auf das ursprüngliche Volumen eine Aenderung der Temperatur nicht stattfindet.

** Wenn sich das Gas beispielsweise in einem Gefässe befindet, welches mit einem verschiebbaren Stempel von bestimmtem Gewichte geschlossen ist.

*** D. h. wenn das Gas in ein Gefäss von bestimmtem, unveränderlichem Rauminhalte eingeschlossen ist.

$\frac{1 + 3000\alpha}{1 + 1000\alpha} = 2\cdot571$ ○d/m beträgt. Bringt man das so ausgedehnte Gas wieder auf das Volumen von 1 ○d/m, ohne dass hiedurch eine weitere Zunahme der Temperatur eintritt, so wird es die Spannung von $2\cdot571 \times 2364 = 6078$ Atm. erlangen, wie sie auch früher gefunden wurde.

Die Wärmemenge, welche einem Gase zugeführt werden muss, um bei constant bleibendem Drucke seine Temperatur um einen bestimmten Betrag zu steigern, ist grösser als diejenige, welche ihm zugeführt werden muss, wenn die Erwärmung bei constantem Volumen erfolgt. Denn das unter einem bestimmten Drucke stehende, sein Volumen vergrössernde Gas verrichtet hiebei eine äussere Arbeit (Verschieben des Stempels, Ausdehnung des Gases selbst), auf welche ein Theil der zugeführten Wärme aufgewendet werden muss, der also für die Steigerung der Temperatur verloren geht. Es wird daher die Wärmemenge, welche Einer Gewichtseinheit eines Gases zugeführt werden muss, um seine Temperatur um 1° C. zu steigern, d. h. die specifische Wärme desselben, bei constantem Drucke grösser sein, als bei constantem Volumen. So beträgt beispielsweise die specifische Wärme des Kohlendioxyds bei constantem Drucke 0·2169, bei constantem Volumen 0·1662 Calorien (Wärme-Einheiten).

Die Wärme, welche bei der Explosion eines explosiven Präparates auftritt und die Temperatur der entwickelten Gase erhöht, wird, wie eingangs bemerkt, durch die Bildung der Explosionsproducte selbst geliefert; die Menge der so producirten Wärme ist die gleiche, mag die Explosion unter constantem Drucke oder unter constantem Volumen erfolgen. Diese in beiden Fällen gleiche Wärmemenge wird aber bei constantem Drucke eine geringere Temperatursteigerung der Gase bewirken, als bei constantem Volumen, weil im ersteren Falle für die bei der Vergrösserung des Volumens verrichtete Arbeit eine bestimmte Wärmemenge aufgewendet wurde.

Die Ausgleichung zwischen den beiden Temperaturen kann man sich auf folgende Weise vorstellen: Soll das unter constantem Drucke gestandene Gas, dessen Volumen bei Zufuhr der Wärme vergrössert wurde, auf sein ursprüngliches Volumen zurückgeführt werden, so muss genau die gleiche Arbeit (Einschieben des Stempels und hiebei Zusammendrückung des Gases) durch eine äussere Kraft verrichtet werden, welche Arbeit wieder in Wärme umgesetzt wird. Nachdem diese Wärme, welche genau so gross ist, als die früher verloren gegangene, eine weitere Steigerung der Temperatur des Gases bewirkt, so wird die Temperatur des letzteren schliesslich dieselbe Höhe erreichen, als ob während der Einwirkung der Wärme keine Volumsänderung eingetreten wäre, d. h. als ob diese Einwirkung bei constantem Volumen des Gases stattgefunden hätte.

4.) Die *Grösse des Raumes,* in welchem das Präparat verbrennt: Je kleiner dieser Raum, desto grösser die Gasspannung, daher im kleinsten Raume die grösste Spannung. Der kleinste Verbrennungsraum ist jener, welchen das Präparat gänzlich ausfüllt; die diesem Raume entsprechende, daher unter allen möglichen die grösste Spannung wird absolute Spannkraft oder Absolutspannung des Präparates genannt. Das Verhältniss, in welchem die Präparatladung den Explosionsraum ausfüllt, heisst Ladungsdichtigkeit; bei vollständiger Ausfüllung des Explosionsraumes ist die Ladungsdichtigkeit $= 1$, diese bildet daher die Bedingung für das Auftreten der absoluten Spannkraft. Bei jeder anderen Ladungsdichtigkeit < 1 ist die Spannung kleiner als die absolute und wird relative Spannkraft genannt. Bezeichnet P_0 die absolute Spannkraft eines Präparates vom Gewichte G_0, welches den Explosionsraum V_0 gänzlich ausfüllt, so ist die einem anderen Explosionsraume $V > V_0$ entsprechende relative Spannkraft P desselben Präparates nach dem Mariotte'schen Gesetze $P = P_0 \frac{V_0}{V}$. Die Ladungsdichtigkeit ist im ersteren Falle $D_0 = \frac{G_0}{V_0}$, im letzteren $D = \frac{G_0}{V}$, daher ist $\frac{V_0}{V} = \frac{D}{D_0}$ und $P = P_0 \frac{D}{D_0}$ oder mit $D_0 = 1$, $P = DP_0$; derselbe Wert für die relative Spannkraft ergibt sich auch, wenn eine andere Menge G desselben Präparates im Raume V_0 verbrennt und $\frac{G}{V_0} = D$ ist, oder wenn überhaupt eine beliebige Präparatmenge in einem solchen Raume verbrennt, dass die Ladungsdichtigkeit $= D$ ist. Für eine andere Ladungsdichtigkeit D' ist die Spannkraft $P' = D'P_0$, daher besteht das Verhältniss $P' : P = D' : D$, d. h. bei einem und demselben Präparat folgt jede relative Spannkraft aus der absoluten durch Multiplication der letzteren mit der Ladungsdichtigkeit, und die Spannkräfte jedes Präparates verhalten sich so, wie die bezüglichen Ladungsdichtigkeiten.

Diese einfache Relation zwischen den Explosionsräumen und den ihnen zukommenden Spannungen eines bestimmten Präparates gilt nur für verschiedene, von einander unabhängige Explosionen, welche in geschlossenen Gefässen von unveränderlichem Rauminhalte vor sich gehen, wobei ein Verlust an entbundener Wärme nicht stattfindet. Tritt jedoch nach der in einem Gefässe vom Rauminhalte v_0 vor sich gegangenen Explosion, welche die Gasspannung p_0 erzeugt, eine Erweiterung des Raumes dadurch ein, dass das Gas einen das Gefäss abschliessenden Stempel verschiebt, was (nach dem

in 3.) Gesagten) einen Verlust an Wärme involvirt, so erfolgt eine grössere Abnahme der Gasspannung, als sie sich nach dem Mariotte'schen Gesetz ergeben würde. Der Zusammenhang zwischen der Gasspannung p im erweiterten Raume v und der Spannung p_0 im Explosionsraume v_0 ist dann unter der Voraussetzung, dass die Explosion nur Gase (ohne Rückstand) liefert, folgender: Bedeutet c die specifische Wärme der bezüglichen Gase bei constantem Volumen und c' die specifische Wärme bei constantem Drucke, und wird $\frac{c'}{c} = k$ gesetzt, so ist $p = p_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^k$ *(Poisson'sches* oder *potencirtes Mariotte'sches Gesetz).*

Liefert z. B. 1 $^k/_g$ eines bestimmten Präparates vom specifischen Gewichte = 1 in einem geschlossenen Gefässe vom Rauminhalte = 1 $\bigcirc^d/_m$ (Ladungsdichtigkeit = 1) die — absolute — Spannkraft von 1000 Atm., so würde dieselbe Präparatmenge in einem geschlossenen Gefässe vom doppelten Rauminhalte (Ladungsdichtigkeit = $\frac{1}{2}$) die — relative — Spannkraft von 500 Atm. ergeben. — Nimmt man jedoch an, dass nach der vor sich gegangenen Explosion des Präparates im Gefässe vom Rauminhalte $V_0 = 1 \bigcirc^d/_m$, welche die Spannung $p_0 = 1000$ Atm. liefert, infolge Verschiebung des Gefässverschlusses durch das Gas der Ausbreitungsraum desselben auf das Doppelte, $v = 2 \bigcirc^d/_m$, erweitert wird, so würde die Gasspannung in diesem Raume, wenn $k = 1{\cdot}4$ angenommen wird, $p = 1000 (0{\cdot}5)^{1{\cdot}4} = 380$ Atm. betragen.

Die durch die Ladungsdichtigkeit = 1 bedingte absolute Spannkraft ist bei Präparaten, welche in verschiedener Form und Dichte zur Verwendung gelangen, eine verschiedene; denn mit dem Zunehmen der Dichte wird der vom Präparate ausgefüllte Raum kleiner, daher die Spannung selbst grösser. In solchen Fällen nimmt man in der Regel diejenige absolute Spannkraft, welche sich auf das specifische Gewicht = 1 des Präparates bezieht, als Basis an und nennt sie Absolutspannung schlechtweg; sie findet demnach statt, wenn auf jede Volumseinheit (1 $\bigcirc^d/_m$) des Explosionsraumes Eine Gewichtseinheit (1 $^k/_g$) des Präparates entfällt. Bezeichnet man diese Absolutspannung mit $P_0^{(1)}$, so ergibt sich aus derselben jede in einem concreten Falle für eine bestimmte Präparatdichte $= d$ stattfindende absolute Spannkraft $P_0^{(d)}$ mit $P_0^{(d)} = dP_0^{(1)}$, und die einer bestimmten Ladungsdichtigkeit $= D$ entsprechende Relativspannung P mit $P = DP_0^{(d)} = DdP_0^{(1)}$; setzt man $Dd = D^{(1)}$, so ist $P = D^{(1)}P_0^{(1)}$. $D^{(1)}$ bedeutet sodann die Ladungsdichtigkeit, bezogen auf die Präparatdichte = 1, d. h. das Verhältniss des Präparatgewichtes in Kilogramm zum Volumen des Explosionsraumes in Cubikdecimeter, stellt daher die einfachste Beziehung zwischen diesen beiden Factoren dar.

Das Beispiel eines Präparates, dessen Dichte verschieden sein kann, bietet das Schiesspulver, welches grösstentheils in Körnerform angewendet wird. Die für den Rauminhalt, welchen ein bestimmtes Gewicht des Pulvers ausfüllt, massgebende Dichte, die gravimetrische oder cubische Dichte, ist nicht allein von der Dichte des einzelnen Kornes (Korndichte), sonderen auch von der Grösse und Form der Körner abhängig, weil dadurch die zwischen den Körnern entstehenden Zwischenräume bedingt werden. Die gravimetrische Dichte unterliegt daher selbst bei unveränderter Korndichte grossen Verschiedenheiten und erreicht ihr Maximum, wenn die Zwischenräume zwischen den Körnern verschwinden, d. h. wenn die ganze Pulvermasse aus einem einzigen Korn (Pulverkuchen) besteht, wobei die gravimetrische mit der Korndichte zusammenfällt. Aber auch der Pulverkuchen kann verschiedene Dichten haben, je nach der Pressung, welche bei der Herstellung desselben angewendet wurde und welche niemals so weit gehen kann, dass die Massentheilchen ohne Zwischenräume (Poren) vollkommen dicht aneinander liegen. Denkt man sich die Poren ausgeschlossen, so würde dies die absolute oder Massendichte des Pulvers geben.

Nach Vorstehendem hat bei jedem Präparat das Auftreten einer bestimmten Spannung im unveränderlichen Explosionsraume nur eine bestimmte Ladungsdichtigkeit zur Bedingung, ohne Rücksicht, wie gross die Menge des verbrennenden Präparates an sich ist. So würde beispielsweise 1 $^{k}/_{g}$ eines Präparates vom specifischen Gewichte = 1 in einem Gefässe vom Rauminhalte = 1 $\bigcirc^{d}/_{m}$ ebensogut die dem Präparat eigenthümliche absolute Spannkraft produciren, als 10 $^{k}/_{g}$ desselben Präparates in einem Gefässe vom Rauminhalte = 10 $\bigcirc^{d}/_{m}$. —

Bemerkenswerth ist der Einfluss des Rückstandes auf die soeben erörterten Factoren des Gasdruckes und somit indirect auf die Gasspannung selbst. Der in fester oder flüssiger Form erscheinende Rückstand nimmt an der Temperatursteigerung der Verbrennungsproducte theil und entzieht daher den Gasen einen Theil der bei der Verbrennung frei werdenden Wärme, so dass die Temperatur der Gase nicht in demselben Grade gesteigert wird, als dies ohne Vorhandensein des Rückstandes geschehen würde. Der Rückstand bewirkt deshalb und weil er direct an der Druckbildung keinen Antheil hat, eine Verminderung des Gasdruckes. Da aber der Rückstand einen Theil des Ausdehnungsraumes ausfüllt, so verursacht er indirect wieder eine Vergrösserung des Gasdruckes.

Ebenso vermehrt der Rückstand, im Falle er gleich den Gasen durch chemische Reaction entstanden ist, die Wärmemenge, ersetzt daher theilweise die den Gasen entzogene Wärme.

Erscheint der Rückstand bei der im Explosionsraume herrschenden hohen Temperatur in Dampfform, so verschwindet der Einfluss desselben auf den Ausbreitungsraum; hingegen tritt nun der Dampf des Rückstandes zu den entbundenen permanenten Gasen hinzu, ver-

mehrt somit die Gasmenge und modificirt das durchschnittliche specifische Gewicht des Gasgemisches. In diesem Falle steht das Präparat unter denselben Bedingungen, als ob eine vollständige Dissociation stattgefunden hätte.

Fasst man alles Vorstehende zusammen, so geschieht die Berechnung der Gasspannung, welche sich bei einer Explosion ergibt, auf folgende Art:

α) Bei vollständiger Dissociation (eventueller Rückstand in Dampfform), wenn die Explosion in einem geschlossenen Gefässe stattfindet. Bezeichnet G das absolute, d das specifische Gewicht des Präparates, D die Ladungsdichtigkeit, d_1 das durchschnittliche specifische Gewicht des Gas- (und Dampf-) Gemisches, so ist das Volumen des Explosionsraumes $V = \frac{G}{Dd}$, das Volumen des Gases bei 0° C. und der Spannung $= 1$ Atm. $V_1 = \frac{G}{d_1}$; sei ferner die im Explosionsraume herrschende Temperatur $= T$, so folgt die Gasspannung in Atm.:

$$P = (1 + \alpha T)\frac{V_1}{V}$$

Geschieht nach der Explosion eine Erweiterung des Raumes auf das Volumen v, wozu der Abschluss des Gefässes (Stempel) durch das Gas verschoben werden muss, so ist die dem Volumen v entsprechende Gasspannung

$$p = P\left(\frac{V}{v}\right)^k$$

worin $k = \frac{c'}{c}$, c die specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen, c' dieselbe bei constantem Drucke bedeutet.

β) Bei unvollständiger Dissociation (Rückstand in fester oder flüssiger Form). Bezeichnen G_1 und G_2 die absoluten, d_1 und d_2 die specifischen Gewichte, $V_1 = \frac{G_1}{d_1}$ und $V_2 = \frac{G_2}{d_2}$ die Volumina beziehungsweise der Gase und des Rückstandes bei 0° C. und der Spannung von 1 Atm., so ist bei der Explosion im geschlossenen Gefässe der Ausbreitungsraum der Gase $V - V_2$ und die Gasspannung

$$P' = (1 + \alpha T)\frac{V_1}{V - V_2}$$

Bei Erweiterung des Raumes nach der Explosion beeinflusst der Rückstand das Verhältniss zwischen der Spannung im ursprünglichen Ausbreitungsraume $V - V_2$ und im erweiterten Raume $v - V_2$, indem eine Ausgleichung der Temperatur der Gase und des Rück-

standes stattfindet, wobei der letztere den Wärmeverlust der Gase theilweise ersetzt. Hiedurch erhält der Exponent k des Poisson'schen Gesetzes eine etwas andere Bedeutung; es ist nämlich $k = \frac{C'}{C}$ zu setzen, wo C und C' die durchschnittliche specifische Wärme aller Verbrennungsproducte überhaupt (Gase und Rückstand) bei constantem Volumen und bei constantem Drucke bezeichnen. Insoferne die specifische Wärme der den Gasen beigemischten festen Körper (hier des Rückstandes) von dem Umstande, ob die Gase unter constantem Volumen oder unter constantem Drucke stehen, unbeeinflusst betrachtet werden kann und $= c_1$ angenommen wird, ist

$$C = \frac{G_1 c + G_2 c_1}{G} \text{ und } C' = \frac{G_1 c' + G_2 c_1}{G}, \text{ daher}$$

$$k = \frac{G_1 c' + G_2 c_1}{G_1 c + G_2 c_1} = \frac{c' + \frac{G_2}{G_1} c_1}{c + \frac{G_2}{G_1} c_1}$$

Die dem erweiterten Raume v entsprechende Gasspannung ist demnach

$$p' = P' \left(\frac{V - V_2}{v - V_2} \right)^k$$

Den Einfluss des Rückstandes auf die Gasspannung möge folgendes Beispiel darthun. Bei der Verbrennung von 1 $^{k}/_{g}$ eines Präparates vom specifischen Gewichte $d = 1$ betrage das Gewicht des festen Rückstandes $G_2 = 0 \cdot 3$ $^{k}/_{g}$, das specifische Gewicht der Gase sei $d_1 = 0 \cdot 001$, jenes des Rückstandes aber $d_2 = 0 \cdot 6$; die Explosion erfolge in einem geschlossenen Gefässe, welches durch das Präparat gänzlich ausgefüllt wird ($D = 1$); die frei werdende Wärme entspreche 300 Wärme-Einheiten (Calorien) auf jede Gewichtseinheit der entbundenen Gase und 250 Cal. auf die Gewichtseinheit des Rückstandes; die specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen sei $c = 0 \cdot 2$, jene des Rückstandes $c_1 = 0 \cdot 4$. — Würden sich nur Gase von den obigen Eigenschaften bilden, so wäre das Gewicht derselben $= 1$ $^{k}/_{g}$ und das Volumen (bei 0° C. und der Spannung $= 1$) $V_1 = 1000$ $\bigcirc ^{d}/_{m}$; der Expansionsraum würde $V = 1$ $\bigcirc ^{d}/_{m}$, die frei werdende Wärme 300 Calorien, die Temperatur der Gase also $\frac{300}{0 \cdot 2} = 1500°$ und die Spannung $P = \left(1 + \frac{1500}{273}\right) 1000 = 6493$ Atm. betragen.

Infolge des Rückstandes vermindert sich das Gewicht der Gase auf $G_1 = 0 \cdot 7$ $^{k}/_{g}$; das Volumen auf $V_1 = 700$ $\bigcirc ^{d}/_{m}$; hingegen nimmt der Rückstand das Volumen $V_2 = \frac{G_2}{d_2} = \frac{0 \cdot 3}{0 \cdot 6} = 0 \cdot 5$ $\bigcirc ^{d}/_{m}$ ein und vermindert daher den Expansionsraum auf $V - V_2 = 0 \cdot 5$ $\bigcirc ^{d}/_{m}$. Die frei werdende Wärme beträgt 285 Calorien, die Wärme, welche zur Erhöhung der Temperatur des ganzen Gemisches (Gase und Rückstand) um 1° C. erforderlich ist, $0 \cdot 7 \times 0 \cdot 2 + 0 \cdot 3 \times 0 \cdot 4 = 0 \cdot 26$ Calorien, daher die gesteigerte Temperatur $\frac{285}{0 \cdot 26} = 1096°$ und die Gasspannung $P' = \left(1 + \frac{1096}{273}\right) \frac{700}{0 \cdot 5} = 7022$ Atmosphären.

Tritt nach der Explosion eine Erweiterung des Raumes auf $v = 2 \bigcirc^{d}/_{m}$ ein und beträgt die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke $c' = 0 \cdot 28$, so ist unter der Voraussetzung der vollständigen Dissociation $k = \frac{c'}{c} = 1 \cdot 4$ und die dem erweiterten Raume v entsprechende Gasspannung $p = 6493(\frac{1}{2})^{1 \cdot 4} = 0 \cdot 379 \times 6493 =$ $= 2460$ Atm. Bei Berücksichtigung des Rückstandes ist $k = 1 \cdot 215$ und die dem Raume $v = 2 \bigcirc^{d}/_{m}$ entsprechende Spannung $p' = 7022(\frac{0 \cdot 5}{1 \cdot 5})^{1 \cdot 215} = 1880$ Atm. —

Die Einschliessungswände des Explosionsraumes, mit welchen die glühenden Explosionsproducte in Berührung treten, entziehen diesen letzteren Wärme, wodurch eine Verminderung der Temperatur und Gasspannung eintritt; jedoch ist diese Wärme-Ableitung bei der überaus kurzen Zeit, welche die Explosion in Anspruch nimmt, in den meisten Fällen so gering, dass sie ausser Betracht gelassen werden kann. Wenn dennoch bei den Rohren der Feuerwaffen eine nicht unbedeutende Erwärmung stattfindet, so scheint die Ursache derselben weniger in der abgeleiteten Wärme der Explosionsproducte, als vielmehr in den Erschütterungen und molecularen Veränderungen, welche in Wärme umgesetzt werden, zu liegen.

Im Vorangegangenen wurde unter »Gasdruck« oder »Gasspannung« stets der Druck auf die Flächeneinheit verstanden und dem entsprechend in Atmosphären ausgedrückt. Für die Wirkung, welche die durch Explosion entwickelten Gase unter bestimmten Umständen hervorbringen, ist ausser der in Atmosphären ausgedrückten Gasspannung die Grösse der Fläche massgebend, welche den Druck aufnimmt; hierin tritt der Unterschied zwischen den grossen und kleinen Ladungen eines und desselben Präparates hervor. Verbrennen z. B. zwei verschieden grosse Ladungen in ähnlichen cylindrischen Gefässen, welche sie in gleicher Weise ausfüllen (gleiche Ladungsdichtigkeit), so werden sich allerdings (wenn von dem Wärmeverlust durch Ableitung der Gefässwände abgesehen wird) in beiden Fällen gleiche Gasspannungen ergeben, jedoch wird der Druck auf einen den Cylinder einerseits abschliessenden Stempel, falls dieser fortbewegt werden soll, daher auch die in dieser Bewegung zum Ausdruck kommende Wirkung verschieden sein, weil der Stempel im grösseren Gefässe dem Gasdrucke eine grössere Fläche darbietet, als jener im kleineren Gefässe. Bezeichnet f die Fläche des Stempels (Querschnittsfläche des Cylinders) in Quadrat-Centimetern, p die Gasspannung in Atmosphären, so beträgt, nachdem eine Atmosphäre dem Drucke von $1 \cdot 03$ $^{k}/_{g}$ auf $1 \square^{c}/_{m}$ entspricht, der totale Druck auf den Stempel $1 \cdot 03 fp$; für eine in Quadrat-Decimetern angegebene Fläche ist der Druck $103 fp$ etc.

Die totale Arbeit der Explosion, d. h. diejenige Kraftleistung, welche die entbundenen Gase zu verrichten vermögen, ist nur von

der bei der Explosion frei werdenden Wärmemenge abhängig; auf sie haben die Factoren, welche die Gasspannung bedingen,* keinen Einfluss. Es besteht demnach zwischen der Grösse dieser Arbeit und der Gasspannung kein directer, einfacher Zusammenhang; die letztere bildet nur die Vermittlung, durch welche die im Präparate letal enthaltene und infolge der Explosion frei gewordene Arbeit auf die das Präparat umgebenden Gegenstände übertragen wird. Bezeichnet W die Wärmemenge, welche Eine Gewichtseinheit (1 $^{k}/_{g}$) des explodirenden Präparates liefert, J die einer Wärmeeinheit (Calorie) entsprechende Arbeit (424 $^{m}/^{k}/_{g}$), so ist $a = WJ$ die specifische Arbeit des Präparates; ist ferner G das Gewicht der Präparatladung, so beträgt die totale Arbeit der Explosion $A = GWJ$. Das Verhältniss derjenigen Arbeit A', welche unter bestimmten Verhältnissen durch Vermittlung des Gasdruckes in der beabsichtigten Wirkung zum Ausdrucke kommt (Nutzarbeit), zu der totalen Arbeit A wird als Ausnützungs-Quotient der Präparatladung bezeichnet.

b) Ermittlung der Factoren des Gasdruckes.

Aus den anderweitig festgestellten Gesetzen der chemischen Verwandtschaft der in einem bestimmten Präparate enthaltenen Stoffe lässt sich hypothetisch ein Schema für die Vorgänge während der Explosion aufstellen, aus welchem sich die chemische Zusammensetzung der gasförmigen Producte und des Rückstandes ergibt. Dies führt dann (vorausgesetzt, dass die in Frage stehenden Producte experimentell erforscht und in ihren hieher einschlägigen Verhältnissen genau bekannt sind) durch einfache Rechnung, also auf rein theoretischem Wege, zur Kenntniss der absoluten und specifischen Gewichte der Explosionsgase und des Rückstandes (erster und zweiter Factor), sowie der bei der Explosion frei werdenden Wärmemenge und der durch dieselbe herbeigeführten Steigerung der Temperatur der Producte (dritter Factor), woraus mit Hilfe des als Basis angenommenen Inhaltes des Explosionsraumes (vierter Factor) die Gasspannung folgt.

Die Bestimmung der bei der Explosion frei werdenden Wärmemenge und der Temperatur der Explosionsproducte geschieht auf folgende Art:

Die Bildung dieser Producte ist im Wesentlichen das Resultat eines Verbrennungsprocesses, bei welchem ein Theil der ein-

* Insoferne sie nicht etwa die chemische Reaction selbst alteriren.

facheren Verbindungen oder auch Elemente, in die das Präparat im ersten Explosionsstadium zerfällt, als Verbrenner, ein anderer Theil als Verbrennungsmittel auftritt.

Bezeichnet man die Gewichte der Verbrenner mit $m_1\ m_2\ m_3 \ldots\ldots$ und die Wärmemengen, welche eine Gewichtseinheit der Verbrenner bei der Verbrennung liefert, beziehungsweise mit $w_1\ w_2\ w_3 \ldots\ldots\ldots$, so beträgt die ganze durch die Verbrennung frei werdende Wärmemenge, totale Verbrennungswärme, $\Sigma mw = m_1 w_1 + m_2 w_2 + m_3 w_3 + \ldots.$

Diese Wärme wird aber nicht gänzlich bei der Explosion frei werden, denn die Zersetzung der Bestandtheile des Präparates erfordert eine bestimmte Arbeit, welche von der Verbrennungswärme geleistet werden muss; hiedurch geht ein Theil der Verbrennungswärme verloren und es wird nur der Ueberschuss derselben zur Erhöhung der Temperatur der Verbrennungsproducte verwendet. Die zur Zersetzung erforderliche Wärmemenge, welche Zersetzungswärme genannt werden soll, bestimmt sich folgendermassen: Bezeichnet man mit $\mu_1\ \mu_2\ \mu_3 \ldots\ldots$ die Gewichte der zu zersetzenden Bestandtheile des Präparates und mit $\omega_1\ \omega_2\ \omega_3 \ldots\ldots$ die beziehungsweise bei der Zersetzung einer Gewichtseinheit derselben absorbirte Wärmemenge, so ist die totale Zersetzungswärme

$$\Sigma\mu\omega = \mu_1 \omega_1 + \mu_2 \omega_2 + \mu_3 \omega_3 + \ldots$$

Die durch die Explosion wirklich frei werdende Wärmemenge, die eigentliche Explosionswärme, ist demnach $\Sigma mw - \Sigma\mu\omega$. Bedeutet G das Gewicht des Präparates, W die bei der Explosion einer Gewichtseinheit desselben frei werdende Wärmemenge — die reducirte oder specifische Wärmemenge des Präparates —, so ist $GW = \Sigma mw - \Sigma\mu\omega$, daher

$$W = \frac{\Sigma mw - \Sigma\mu\omega}{G}$$

oder wenn $G = 1$ ist, d. h. wenn die Berechnung auf eine Gewichtseinheit des Präparates basirt wird, $W = \Sigma mw - \Sigma\mu\omega$.

Bedeutet ferner C die durchschnittliche specifische Wärme der Verbrennungsproducte bei constantem Volumen, so ist GC die Wärmemenge, welche nothwendig ist, um die Temperatur dieser Producte um 1^0 C. zu steigern; die Temperatur t, auf welche die Verbrennungsproducte bei der Explosion in geschlossenen Gefässen gebracht werden, ist also $t = \frac{GW}{GC} = \frac{W}{C}$. Sind $n_1\ n_2\ n_3 \ldots$ die Gewichte der einzelnen Verbrennungsproducte, deren Summe $= G$, $s_1\ s_2\ s_3 \ldots$ die

specifischen Wärmen derselben bei constantem Volumen, so ist $GC = \Sigma ns = n_1 s_1 + n_2 s_2 + n_3 s_3 \ldots$, daher ist

$$t = \frac{\Sigma mw - \Sigma \mu\omega}{\Sigma ns}$$

Diese Temperatur heisst Verbrennungstemperatur des Präparates, während die Temperatur, auf welche das Präparat selbst gebracht werden muss, damit die Zersetzung erfolge, Entzündungstemperatur* genannt wird.

Die durchschnittliche specifische Wärme der Verbrennungsproducte bei constantem Drucke C' folgt aus $GC' = \Sigma ns' = n_1 s'_1 + n_2 s'_2 + n_3 s'_3 \ldots$, wo $s'_1 s'_2 s'_3 \ldots$ die specifischen Wärmen der einzelnen Verbrennungsproducte bei constantem Drucke bezeichnen; der Exponent k des Poisson'schen Gesetzes ist demnach $k = \frac{C'}{C} = \frac{\Sigma ns'}{\Sigma ns}$.

Als Beispiel sei das bekannte hypothetische Zersetzungsschema des Schiesspulvers: $2KNO_3 + S + 3C = 3CO_2 + 2N + K_2S$ angenommen. Entsprechend den Atomgewichten $K = 39$, $N = 14$, $O = 16$, $S = 32$ und $C = 12$ ist die Zusammensetzung des Pulvers

$2K =$	78 Gthle.
$2N =$	28 »
$6O =$	96 »
$S =$	32 »
$3C =$	36 »
zusammen	270 Gthle.,

und das Gewichtsverhältniss der Verbrennungsproducte

$3CO_2 =$	132 Gthle.
$2N =$	28 »
$K_2S =$	110 »
zusammen	270 Gthle.,

folglich ist das Gewicht der gasförmigen Producte $3CO_2 + 2N = 160$ und jenes des Rückstandes $K_2S = 110$ oder bei der Explosion von 1 kg Pulver 0·593 kg Gase und 0·407 kg Rückstand. In den Gasen sind 0·489 kg Kohlendioxyd und 0·104 kg Stickstoff; das specifische Gewicht des ersteren Gases, bezogen auf die atmosphärische Luft, ist 1·52, die des letzteren 0·97; das specifische Gewicht der Luft, bezogen auf Wasser, zu 0·0013 angenommen, ist somit das specifische Gewicht der Gase, beziehungsweise 0·00197 und 0·00126.

* Die Entzündungstemperatur ist in der Verbrennungstemperatur mit inbegriffen; die Wärmemenge, welche das Präparat bis zu dem Momente in sich aufnimmt, wo die Zersetzung wirklich eintritt, die Entzündungswärme, ist grösser, als die eigentliche Zersetzungswärme; der Ueberschuss ist eben jene Wärme, welche das Präparat bis zur Entzündungstemperatur erhitzt.

Das Volumen des Kohlendioxyds bei 0^0 Temparatur und der Spannung von einer Atmosphäre ist demnach 248·2 ○d/m und jenes des Stickstoffes 82·5 ○d/m, zusammen 330·7 ○d/m.

Die Verbrennungswärme wird durch Verbindung von 0·133 k/g Kohlenstoff mit Sauerstoff und von 0·289 k/g Kalium mit Schwefel geliefert, es ist demnach $m_1 = 0 \cdot 133$ k/g und $m_2 = 0 \cdot 289$ k/g; die Wärmemengen bei der Verbrennung einer Gewichtseinheit dieser Stoffe sind beziehungsweise $w_1 = 8080$ und $w_2 = 1315$ Calorien. Die totale Verbrennungswärme beträgt demnach $\Sigma mw = 1455$ Calorien. Von den Bestandtheilen des Präparates wird nur der Salpeter zersetzt; das Gewicht desselben ist $\mu_1 = 0 \cdot 748$ k/g. und wenn man $\omega_1 = 1173$ Calorien annimmt, so beträgt die Zersetzungswärme $\Sigma \mu \omega = 877$ Calorien. Als eigentliche Explosionswärme bleibt $W = \Sigma mw - \Sigma \mu \omega = 578$ Calorien übrig.

Die Gewichte der Verbrennungsproducte sind: n_1 (CO_2) $= 0 \cdot 489$ k/g, n_2 $(N) = 0 \cdot 104$ k/g, $n_3 (K_2S) = 0 \cdot 407$ k/g und die specifischen Wärmen bei constantem Volumen, beziehungsweise $s_1 = 0 \cdot 1662$, $s_2 = 0 \cdot 1742$, $s_3 = 0 \cdot 1081$, daher $n_1\, s_1 = 0 \cdot 0813$, $n_2\, s_2 = 0 \cdot 0181$, $n_3\, s_3 = 0 \cdot 0440$ und $C = \Sigma ns = 0 \cdot 1434$ Cal. Mit diesen Zahlen findet man die Temperatur der Verbrennungsproducte im unveränderlichen Explosionsraume: $t = \frac{578}{0 \cdot 1434} = 4030^0$.

Das specifische Gewicht des Kaliumsulfids kann mit 2·2 angenommen werden, daher ist das Volumen des Rückstandes = 0·185 ○d/m. Nimmt man für das Pulver die gravimetrische Dichte = 1 und die Ladungsdichtigkeit = 1 an, so füllt 1 k/g desselben den Raum von 1 ○d/m aus, und es bleibt nach Abschlag des Volums des Rückstandes als Expansionsraum der Gase 0·815 ○d/m übrig; in diesem Raume hat das Gas die Spannung

$$P_0^{(1)} = \frac{330 \cdot 7}{0 \cdot 815}\left(1 + \frac{4030}{273}\right) = 15 \cdot 762\, \frac{330 \cdot 7}{0 \cdot 815} = 6400 \text{ Atm.}$$

Dies ist die theoretische »Absolutspannung« schlechtweg des Schiesspulvers.

Für die gravimetrische Dichte $d = 1 \cdot 4$ ist das Volumen des von 1 k/g Pulver vollständig ausgefüllten Explosionsraumes $V_0 = 0 \cdot 714$ ○d/m und der Expansionsraum der Gase $V_0 - V_2 = 0 \cdot 529$ ○d/m, daher beträgt die dieser Dichte entsprechende absolute Spannkraft $P_0^{(d)} = 15 \cdot 762\, \frac{330 \cdot 7}{0 \cdot 529} = 9850$ Atm.

Für die Ladungsdichtigkeit $D = 0 \cdot 75$ des Pulvers von der Dichte 1·4 findet man $V = 0 \cdot 952$ ○d/m, $V - V_2 = 0 \cdot 767$ ○d/m, daher die Relativspannung

$$P = 15 \cdot 762\, \frac{330 \cdot 7}{0 \cdot 767} = 6790 \text{ Atm.}$$

Zur Bestimmung des für das Pulver geltenden Exponenten k des Poisson-schen Gesetzes hat man die specifische Wärme bei constantem Drucke: für das Kohlendioxyd $s'_1 = 0 \cdot 2169$ und für den Stickstoff $s'_2 = 0 \cdot 2438$, daher $C' = n_1 s'_1 + n_2 s'_2 + n_3 s_3 = 0 \cdot 17534$, somit ist $k = \frac{C'}{C} = 1 \cdot 223$. Unter der Voraussetzung: Pulverdichte = 1, Ladungsdichtigkeit = 1 beträgt im Explosionsraume vom Volumen = 1 ○d/m (Expansionsraum der Gase = 0·815 ○d/m) die Gasspannung 6400 Atm., bei Erweiterung des Raumes auf $v = 5$ ○d/m (Expansionsraum = 4·815 ○d/m) sinkt die Gasspannung auf

$$p = 6400 \left(\frac{0 \cdot 815}{4 \cdot 815}\right)^{1 \cdot 223} = 729 \text{ Atm.}$$

Die specifische Arbeit des explodirenden Schiesspulvers wäre theoretisch, da $W = 578$ Calorien ist, $WJ = 245072$ $^{m}/_{kg}$.

Die Resultate der auf ein hypothetisches Zersetzungsschema basirten Berechnungen haben insoferne einen Werth, als sie über die Leistungsfähigkeit eines Präparates im Allgemeinen oder über das Verhältniss mehrerer Präparate zu einander einen ungefähren Aufschluss geben. Sie können jedoch in concreten Fällen nicht sofort als richtig und unumstösslich gelten, und zwar aus folgenden Gründen:

1.) Weicht in der Wirklichkeit häufig die Zusammensetzung des Präparates von der hypothetischen ab, wodurch sich auch die Zersetzungsproducte anders, als supponirt wurde, ergeben.

2.) Selbst bei einer der theoretischen ganz gleichen Zusammensetzung des Präparates können sich andere Verbrennungsproducte ergeben, als hypothetisch angenommen wurde, sei es, dass eine unvollständige Zersetzung der Bestandtheile des Präparates eintritt, oder dass die chemischen Affinitäten gänzlich oder theilweise anders als vorausgesetzt spielen, was bei der kurzen Zeitdauer des Processes und der im Explosionsraume herrschenden hohen Temperatur und Gasspannung wol denkbar erscheint. Hiedurch werden sowol das theoretisch aufgestellte Verhältniss zwischen dem Gewichte der Gase und jenem des Rückstandes (Gasmenge), als auch das specifische Gewicht des Gasgemisches, die Zersetzungs- und Verbrennungswärme, somit auch die Temperatur der Producte, schliesslich auch der Rauminhalt des Rückstandes, folglich sämmtliche Factoren der Gasspannung alterirt.

3.) Der Aggregatzustand und das specifische Gewicht des Rückstandes, welche für den Ausbreitungsraum des Gases von grosser Bedeutung sind, können Veränderungen unterworfen sein, welche mit der im Explosionsraume herrschenden Temperatur und den Schwankungen derselben im Zusammenhange stehen. Ebenso ist auch der durch die Umschliessungswände verursachte Wärmeverlust von der Temperatur der Verbrennungsproducte und von den äusseren Umständen, unter welchen die Explosion stattfindet, abhängig.

4.) Es ist zweifelhaft, ob die Formeln (Gay-Lussac'sches, Poisson-sches Gesetz) und Constanten (α im Gay-Lussac'schen Gesetz, die Zersetzungs- und Verbrennungs-Wärmemengen der in Frage kommenden Stoffe, die specifischen Wärmen etc.), welche bei verhältnissmässig geringen Temperaturen und Gasspannungen festgestellt wurden, auch

für die hier auftretenden ungewöhnlich hohen Temperaturen und Gasspannungen volle Geltung haben.

Was speciell die specifische Wärme anbelangt, so kann dieselbe bei Gasen als von der Temperatur unabhängig angesehen werden, während die specifische Wärme der festen Körper mit der Temperatur zunimmt.

Um für die Berechnung der Gasspannung eines bestimmten Präparates möglichst verlässliche Daten zu gewinnen, müssten die oben angeführten Factoren auf direct experimentalem Wege ermittelt werden. Die chemische Analyse des Präparates und der Verbrennungsproducte, verbunden mit entsprechenden Dichte-Bestimmungen, liefert die Zusammensetzung und Dichte als Charakteristik des Präparates, für welches die Berechnung gilt, ferner die Zusammensetzung, die Menge und die Dichte des Gases und des Rückstandes. Jedoch bieten die Untersuchungen über die Verbrennungsproducte nicht den wünschenswerthen Grad von Verlässlichkeit, da dieselben bei der hohen Temperatur gleich nach der Explosion schwierig oder gar nicht durchzuführen sind, beim Erkalten der Producte aber höchst wahrscheinlich chemische Veränderungen derselben eintreten.

Zur Ermittlung der Explosionswärme wird das calorimetrische Verfahren eingeschlagen. Dieses besteht darin, dass die Explosion in einem geschlossenen, in Flüssigkeit eingetauchten Gefässe eingeleitet und die Temperatur gemessen wird, auf welche alle an der Temperaturserhöhung durch die entbundene Wärme theilnehmenden Gegenstände, als: Verbrennungsproducte des Präparates, Explosionsgefäss, Flüssigkeit, Flüssigkeitsgefäss, Thermometer etc., gebracht wurden; — wenn die Gewichte und die specifischen Wärmen dieser Gegenstände bekannt sind, so ergibt sich aus der gemessenen Temperatursteigerung die durch die Explosion gelieferte Wärmemenge. Sind nämlich $a_1\, a_2\, a_3 \ldots$ die Gewichte, $b_1\, b_2\, b_3 \ldots$ die specifischen Wärmen der Verbrennungsproducte,* beziehungsweise des Explosionsgefässes und der übrigen an der Temperaturserhöhung theilnehmenden Gegenstände, ist ferner t_0 der Stand des Thermometers vor der Explosion, t derselbe nach der Explosion, wenn die Ausgleichung der Temperatur in allen Theilen stattgefunden hat (der höchste beobachtete

* Die specifische Wärme der Verbrennungsproducte kann allerdings, strenge genommen, nicht als bekannt vorausgesetzt werden, jedoch genügt eine annähernd richtige Annahme für dieselbe, wenn das Experiment derart angeordnet wird, dass das Gewicht der übrigen Gegenstände jenes des explodirenden Präparates um ein sehr Beträchtliches überwiegt.

Thermometerstand in dem Momente, wo derselbe infolge der Wärmeableitung durch die Luft zu fallen beginnt), so beträgt die bei der Explosion entbundene Wärmemenge $(t - t_0)\Sigma ab$.

Hiebei ist Folgendes zu berücksichtigen: Die Zersetzung der Bestandtheile des Präparates ist ein der eigentlichen Verbrennung vorhergängiger Process; es ist daher praktisch unmöglich, dass die Verbrennungswärme die Zersetzung in der ganzen Masse des Präparates bewirkt, sondern es muss die chemische Reaction in dem explodirenden Präparate dadurch eingeleitet werden, dass ein Theil des Präparates durch von aussen zugeführte Wärme zersetzt wird. Dies geschieht durch die Einwirkung eines Entzündungsmittels. Da die in dem Entzündungsmittel zugeführte Wärmemenge an der Temperaturserhöhung participirt, so stellt die auf vorstehende Art ermittelte Wärmemenge nicht genau die Explosionswärme des Präparates dar; um daher diese letztere für sich allein zu erhalten, muss die vom Entzündungsmittel gelieferte Wärme selbständig ermittelt und von der, auf Grund der Temperaturserhöhung bestimmten Gesammtwärme in Abschlag gebracht werden.

Wird dies ausseracht gelassen, so wird die Explosionswärme des Präparates zu hoch geschätzt, daher irrthümlich der Leistungsfähigkeit des Präparates zugeschrieben, was das Product des Zusammenwirkens zweier Ursachen: der Explosionswärme des Präparates und der Wärme des Entzündungsmittels, ist.

Nachdem bei der praktischen Verwendung der explosiven Präparate die Anwendung von Entzündungsmitteln unerlässlich ist, so muss der Einfluss des Entzündungsmittels auf die Gasspannung noch näher erörtert werden. Je nach der Menge der vom Entzündungsmittel gelieferten Wärme wird diese einen grösseren oder kleineren Theil der totalen Zersetzungsarbeit verrichten, daher wird in jedem Falle ein die Explosionswärme des Präparates übersteigender Theil der totalen Verbrennungswärme zur Erhöhung der Temperatur der Verbrennungsproducte verwendbar bleiben, wodurch diese Temperatur und folglich auch die Gasspannung über das dem Präparate als solchem und den Umständen der Explosion eigenthümliche Mass gesteigert wird. Ist die Wärme (Arbeit) des Entzündungsmittels sehr gering gegen die totale Zersetzungswärme des Präparates, so wird dieselbe ausser Betracht gelassen und die Gasspannung als blosses Product der Explosionswärme angesehen werden können. Nimmt man jedoch an, dass das Entzündungsmittel so viel Wärme an das Präparat

abgibt, um die vollständige Zersetzung desselben zu bewirken, ohne dass hiezu etwas von der Verbrennungswärme des Präparates selbst in Anspruch genommen wird, so wird für die Temperatur der Verbrennungsproducte die totale Verbrennungswärme* massgebend, daher die Gasspannung eine weitaus grössere sein. Die in der Wirklichkeit vorkommenden Gasspannungen werden sich zwischen diesen beiden Extremen bewegen.

Ob sich die effective Gasspannung in einem concreten Falle mehr dem einen oder dem anderen dieser Extreme nähert, wird von dem Verhältnisse der Wärme des Entzündungsmittels zur Zersetzungswärme des explodirenden Präparates abhängen. Eine und dieselbe Wärme (Stärke der Einwirkung) des Entzündungsmittels vorausgesetzt, wird sich die effective Spannung um so mehr von der dem explodirenden Präparate eigenthümlichen entfernen, je kleiner die Quantität des letzteren ist.

c) Zeitdauer der Entzündung und Verbrennung.

Die Entzündung des Präparates wird in der Regel dadurch eingeleitet, dass ein kleiner Theil desselben durch die Einwirkung des Entzündungsmittels bis zur Entzündungstemperatur erhitzt und zersetzt wird; ** die durch Verbrennung dieses Präparattheiles gelieferte Wärmemenge wirkt als Entzündungswärme auf die nächstgelegenen Theile, deren Verbrennungswärme wieder die Zersetzung der folgenden bewirkt, u. s. f. Die zuerst entwickelten heissen Gase breiten sich nämlich mit grosser Geschwindigkeit im Explosionsraume aus und geben die Wärme an die freiliegenden Präparat-

---

* Ja, mehr noch als diese, nachdem jener Theil der Wärme des Entzündungsmittels, welcher die Temperatur des Präparates bis zum Entzündungspunkte steigert, hinzutritt.

** Tritt die Steigerung der Temperatur des Präparates bis zum Entzündungspunkte ohne absichtliches Hinzuthun unter gewöhnlichen Verhältnissen durch natürliche Vorgänge ein, sei es, dass die Entzündungstemperatur des Präparates innerhalb der für gewöhnlich vorkommenden oder unter gewissen unabwendbaren Umständen möglichen Temperatur der umgebenden Luft liegt, oder dass die beim Transporte unvermeidlichen Stösse und Erschütterungen, in Wärme umgesetzt, die zur Entzündung erforderliche Wärmemenge liefern, oder dass sich diese Wärmemenge durch unter gewöhnlichen Verhältnissen eintretende chemische Veränderungen im Präparate selbst erzeugt etc., — so wird die solchergestalt eingeleitete Explosion Selbstentzündung genannt.

theile, mit denen sie in Berührung kommen, ab, wodurch die Temperatur und Spannung des anfänglichen Gasquantums bedeutend sinkt; dafür aber entwickelt sich durch Zersetzung der weiter erwärmten Oberflächentheile des Präparates neues Gas, welches sich mit dem anfänglichen mischt, dessen Temperatur wieder erhöht, so dass jetzt eine grössere Gasmenge von hoher Temperatur sich über die Oberfläche des Präparates ausbreitet, auf welche Art sich die Entzündung über immer grössere Theile der freiliegenden Oberfläche des Präparates erstreckt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Zersetzung nach der Oberfläche der Präparatmasse fortschreitet, wird Entzündungsgeschwindigkeit genannt.

Durch die Verbrennung der oberflächlichen Schichte wird die zunächst darunter liegende blossgelegt, so dass nun auch diese und nach der Verbrennung derselben die nächste u. s. f. von der Zersetzung ergriffen wird. Gleichzeitig dringt das Gas auch in die Poren des Präparates ein; dieses Eindringen wird anfänglich, so lange das Gasquantum seine Wärme grösstentheils an noch unentzündete Oberflächentheile abgibt, daher der Gasdruck ein geringer ist, nur langsam, später jedoch, wenn sich bereits eine grössere Gasmenge entwickelt hat, welche durch die Entzünduug der Oberflächentheile nur wenig an Temperatur und Spannung verliert, immer rascher erfolgen.

Sowol infolge des successiven Verbrennens blossgelegter Schichten (lagenweises Abbrennen), als auch durch das Eindringen des Gases in die Poren schreitet die Zersetzung (nach dem Durchmesser) in das Innere der Präparatmasse fort. Die Geschwindigkeit, mit welcher dieses geschieht, heisst Verbrennungsgeschwindigkeit. Selbstverständlich ist die Entzündungsgeschwindigkeit bedeutend grösser als die Verbrennungsgeschwindigkeit.

Aus dieser Darstellung des Entzündungsprocesses ergibt sich, dass sowol die Entzündungs- als auch die Verbrennungsgeschwindigkeit im Anfange am kleinsten ist und später immer mehr zunehmen wird; ferner dass mit dem Fortschreiten des Verbrennungsprocesses der Theil der Verbrennungswärme, welcher zur Zersetzung der noch nicht brennenden Präparattheile aufgewendet werden muss, im Verhältniss zu der im bereits entwickelten Gasquantum angesammelten Wärme stets kleiner, daher der zur Steigerung der Temperatur der Verbrennungsproducte verwendbare Wärmeüberschuss stets grösser wird; dass somit, wie die Gasmenge, so auch die Temperatur und infolge dessen die Spannung des Gases in fortwährender Zunahme

begriffen sein und erst bei Beendigung des ganzen Verbrennungsprocesses den ihr zukommenden vollen Werth erhalten wird.*

Die Zeitdauer der Entzündung und Verbrennung hängt im Wesentlichen ab:

1.) Von der grösseren oder geringeren *Entzündlichkeit* des Präparates im Allgemeinen; diese ist vorzüglich von dem Verhältnisse der Entzündungs- zur Verbrennungstemperatur abhängig: je kleiner die erstere und je grösser die letztere, desto rascher schreitet unter übrigens gleichen Umständen die Zersetzung fort, desto kürzer wird daher die Zeit der Verbrennung. Weiters wird die Entzündlichkeit durch die Wärmeleitungsfähigkeit des Präparates beeinflusst, durch Abweichungen in der Zusammensetzung und den Feuchtigkeitsgehalt des Präparates, sowie durch den Zustand der Oberfläche (rauhe Oberfläche entzündlicher als glatte) wesentlich modificirt.

2.) Von der *Dichte* des Präparates: Je grösser diese ist, desto langsamer erfolgt die Verbrennung, denn mit zunehmender Dichte werden die Poren im Präparat verkleinert, daher das Eindringen des bereits entwickelten Gases in den noch nicht entzündeten Theil der Präparatmasse erschwert und verzögert. Das Maximum dieser Verzögerung, daher das Maximum der Verbrennungsdauer, würde sich ergeben, wenn das Präparat ganz ohne Poren (absolute Dichte) wäre, da in diesem Falle das Gas gar nicht in das Innere des Präparates eindringen und das Fortschreiten der Verbrennung von der Oberfläche aus nur durch lagenweises Abbrennen stattfinden könnte.

3.) Von der *Grösse* (Menge) und *Form* der Präparatmasse.

Dass von zwei der Dichte und Form nach gleichen Mengen desselben Präparates das grössere eine längere Zeit zur Verbrennung braucht, als das kleinere, ist wol selbstverständlich; nicht so aber das Verhältniss, in welchem die Verbrennungszeit mit der Grösse des Stückes zunimmt. Denkt man sich zwei kugelförmige Präparatstücke, das eine vom Radius = 1, das andere vom Radius = 2, deren Grössen (Gewichte, Volumina) sich demnach wie 1 : 8 verhalten, so würde unter der Voraussetzung, dass bei beiden Stücken die Entzündung momentan die ganze Oberfläche ergriffen hat (oder dass die Entzündungszeiten verschwindend klein sind gegen die Verbrennungszeiten), und unter der weiteren Voraussetzung, dass in beiden Fällen in gleichen Zeiten gleich dicke Kugelschalen abbrennen, d. h. dass die Verbrennung gleichmässig linear in das Innere der Kugeln fortschreitet, die achtmal grössere Kugel nur

* Dies setzt voraus, dass während der Verbrennung eine Erweiterung des Explosionsraumes nicht stattfindet, durch welche allerdings das Gesetz der stetigen Zunahme der Temperatur und Spannung alterirt werden kann. Das Nähere hierüber im vierten Abschnitt.

doppelt so viel Zeit zur Verbrennung benöthigen, wie die kleinere. Diese Zunahme der Verbrennungszeit bei Zunahme des Volums ist als ein Minimum zu betrachten, welches in der Wirklichkeit kaum jemals eintritt, nachdem die für dasselbe gemachten Voraussetzungen nicht genau zutreffen; denn es kann erstlich die Zeit der oberflächlichen Entzündung, so klein sie auch gegen die eigentliche Verbrennungszeit sein mag, daher auch die Differenz der Entzündungszeiten bei den beiden Stücken, nicht ganz ausseracht gelassen werden, ferner geschieht das Fortschreiten der Verbrennung in das Innere des Stückes nicht gleichmässig, sondern gegen den Mittelpunkt zu mit zunehmender Geschwindigkeit, daher bei dem grösseren Stück langsamer, als bei dem kleineren. Beide Ursachen bewirken eine grössere, als die doppelte Verbrennungsdauer für das grössere Stück. Das Maximum der Zunahme der Verbrennungszeit mit der Zunahme des Volums würde sich ergeben, wenn beide Stücke den gleichen Querschnitt hätten, also cylindrische oder prismatische Säulen bilden würden, deren Oberfläche nur einseitig freiliegt. Wenn diese Säulen sehr dicht gepresst sind und unter einem unveränderlichen Gasdrucke stehen, so dass sie nur lagenweise abbrennen können (festgeschlagene Zündsätze), so wird die Verbrennungszeit im directen Verhältnisse zur Säulenlänge stehen, daher die achtmal grössere Säule auch die achtmal grössere Verbrennungszeit beanspruchen.

Um den Einfluss der Form darzuthun, sollen ein Cubus, eine Kugel und ein Cylinder von demselben Volum und der gleichen Dichte unter einander verglichen und angenommen werden, dass die Oberflächen aller Stücke momentan entzündet werden und die Verbrennung gleichmässig lagenweise erfolgt. Setzt man das Volumen $= 1$ und bezeichnet mit a die Seite des Cubus, mit R den Radius der Kugel, mit r den Radius und mit h die Höhe des Cylinders, so ist die Zeit der vollständigen Verbrennung des Stückes beim Cubus prop. $\frac{a}{2}$, bei der Kugel R, beim Cylinder r oder $\frac{h}{2}$ (je nachdem $r < \frac{h}{2}$ oder umgekehrt); aus $1 = a^3 = \frac{4}{3}R^3\pi = r^2\pi h$ folgt $\frac{a}{2} = \frac{1}{2} = 0 \cdot 5$, $R = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} = 0 \cdot 62$, für $h = 2r$, $\frac{h}{2} = r = \sqrt[3]{\frac{1}{2\pi}} = 0 \cdot 54$, für $h = 3r$, $r = 0 \cdot 47$, für $h = 4r$, $r = 0 \cdot 43$, für $h = r$, $\frac{h}{2} = 0 \cdot 34$ etc.

4.) Von der Grösse des Explosionsraumes im Verhältniss zum Volum des Präparates *(Ladungsdichtigkeit):* Je grösser der von dem Präparate nicht erfüllte Theil des Explosionsraumes, desto mehr verliert das Gas durch Ausbreitung in demselben an Temperatur und Spannung, desto mehr wird das Fortschreiten der Zersetzung verzögert, desto grösser wird demnach die Zeit der Verbrennung. Nachdem beim Abnehmen der Ladungsdichtigkeit auch die Gasspannung abnimmt, so stehen in dieser Beziehung Gasspannung und Verbrennungsdauer im Zusammenhang: grössere Gasspannung — kürzere Verbrennungsdauer, kleinere Gasspannung — längere Verbrennungsdauer.

Die kleinste Zeit der Verbrennung wird in dem Falle statthaben, wenn das Präparat den Explosionsraum gänzlich ausfüllt, dies ist auch die Bedingung der grössten — absoluten — Gasspannung; die längste Verbrennungszeit hingegen ergibt sich, wenn das Präparat freiliegend (ohne Einschluss) verbrennt, so dass das Gas in die atmosphärische Luft frei abfliessen kann; in diesem Falle hat das Gas die kleinste Spannung.

5.) Von der Stärke der Einwirkung der *Entzündungsursache,* des Entzündungsmittels. Die schwächste Entzündungsursache ist die Berührung eines glühenden Körpers mit einem sehr kleinen Theile des Präparates, von welchem aus sich die Zersetzung zu den übrigen Theilen des Präparates auf die eingangs beschriebene Weise fortpflanzt; dies bedingt unter übrigens gleichen Umständen die verhältnissmässig längste Verbrennungsdauer. Die stärkste Entzündungsursache wäre eine gleichmässige Steigerung der Temperatur in der ganzen Präparatmasse bis zum Entzündungspunkte, so dass die Explosion in allen Theilen des Präparates gleichzeitig erfolgen und die Verbrennungsdauer die denkbar kürzeste sein müsste.*

Die Zwischenstufen zwischen der schwächsten und der stärksten Entzündungsursache werden durch jene Ursachen ausgefüllt, welche entweder, wie Schlag, Stoss, Erschütterung etc., bloss dynamisch oder, wie die explodirenden Entzündungsmittel (Initialexplosionen), sowol durch ihre Temperatur als auch dynamisch (erschütternd) wirken: die erschütternde Wirkung ist nicht auf die unmittelbar angegriffene Entzündungsstelle beschränkt, sondern dringt auch (allerdings in abnehmender Stärke) in die Präparatmasse ein und verrichtet hier einen Theil der Zersetzungsarbeit, welche sonst den aus dem Präparat entwickelten Gasen zukommen würde, wodurch nicht bloss die Zersetzung beschleunigt, sondern auch ein geringerer Aufwand an Verbrennungswärme zur Zersetzung, daher eine grössere Verbrennungstemperatur und Spannung verursacht wird. Dies wird in um so grösserem Grade der Fall sein, je stärker die Initialexplosion ist.

Die verschiedene Stärke der Initialexplosionen ist geeignet, ein ganz verschiedenes Verhalten eines und desselben Präparates unter denselben Umständen herbeizuführen. So geschieht bei vielen Präparaten, wenn sie offen (ohne Ein-

---

* Dies findet häufig bei Selbstentzündungen statt. — Nachdem in diesem Falle das Entzündungsmittel die ganze Zersetzungsarbeit besorgt, so ergibt sich nach dem unter *b)* im Schlussatze Gesagten zugleich die grösste Steigerung der Gasspannung, so dass auch in dieser Beziehung der kürzesten Verbrennungsdauer die grösste effective Gasspannung entspricht.

schluss) liegend durch eine schwache Initialexplosion oder durch Berührung mit einem glühenden Gegenstande gezündet werden, ein blosses Verpuffen, Aufflammen, ja ruhiges Abbrennen ohne Explosion, da die Verbrennungsgeschwindigkeit so klein ist, dass die über dem Präparate lagernde atmosphärische Luft den sich entwickelnden Gasen rasch genug ausweichen und die Spannung der letzteren sich mit jener der Luft ausgleichen kann; bei Entzündung durch eine sehr starke Initialexplosion (z. B. von Knallquecksilber) tritt auch im offenliegenden Präparat eine Explosion ein, da die Verbrennung (Gasentwicklung) so schnell erfolgt, dass die atmosphärische Luft nicht so rasch ausweichen kann, daher gewissermassen den Einschluss des explodirenden Präparates bildet. Die Explosion eines fest eingeschlossenen Präparates ist um so heftiger, je stärker die zur Entzündung verwendete Initialexplosion ist. Der Unterschied zwischen der Explosion bei Entzündung durch schwache Initialexplosionen oder durch Berührung mit einem glühenden Gegenstande, und jener bei Entzündung durch die stärkste bis jetzt angewendete Initialexplosion (Knallqueksilber) ist bei manchen Präparaten sehr bedeutend. Man bezeichnet die letztere als Detonation.

6.) Bei jenen Präparaten, welche in mehrere Stücke zertheilt zur Verwendung kommen, wird die Zeitdauer der Verbrennung durch den *Grad der Zertheilung,* d. h. durch die Grösse der einzelnen Stücke, sowie ferner durch die Form und gegenseitige Anordnung (Schlichtung) dieser Stücke wesentlich beeinflusst.

Bezeichnet man mit Θ die Zeit der gänzlichen Verbrennung der Präparatmasse, mit ϑ aber die Zeit der Entzündung, d. h. diejenige, während welcher sich die Zersetzung von dem Entzündungspunkte nach der ganzen freiliegenden Oberfläche des Präparates ausbreitet; so wird sich der Einfluss der Zertheilung der Präparatmasse vorzugsweise in dem Verhältnisse $\frac{\Theta}{\vartheta}$ geltend machen. Dieser Quotient wird ein Maximum sein, wenn die ganze Masse ein einziges Stück bildet; er wird sich umsomehr der Einheit ($\vartheta = \Theta$) nähern, je grösser die Zahl der Stücke und je kleiner infolge dessen jedes einzelne Stück wird, da bei sehr kleinen Stücken die Entzündung mit der Verbrennung fast zusammanfällt.

Als Beispiel sei 1 $^{k}/_{g}$ eines Präparates von der Dichte $= 1$ angenommen, bei welchem die — oberflächliche — Entzündung gleichmässig linear mit 1 $^{d}/_{m}$ in der Zeiteinheit, die Verbrennung (durch lagenweises Abbrennen) ebenfalls gleichmässig linear mit $0 \cdot 01$ $^{d}/_{m}$ in der Zeiteinheit fortschreitet. Bildet die Präparatmasse ein einziges cubisches Stück, dessen Seite demnach 1 $^{d}/_{m}$ lang ist, und geschieht die Entzündung an einer Kante, so wird das ganze Stück in zwei Zeiteinheiten entzündet sein; nimmt man an (was allerdings nicht ganz zutreffend ist), dass erst nach der völligen Entzündung das allseitige lagenweise Abbrennen beginnt, so wird dies in 50 Zeiteinheiten beendet sein, so dass $\Theta = 52$, $\vartheta = 2$, somit $\frac{\Theta}{\vartheta} = 26$ wird. Denkt man sich die Präparatmasse in acht gleiche cubische Stücke, deren Seite $= 0 \cdot 5$ $^{d}/_{m}$ ist, zertheilt, so ist die Zeit der Entzündung jedes Stückes $= 1$ Zeiteinheit, daher unter Voraussetzung der nacheinander erfolgenden Entzündung der Stücke $\vartheta = 8$ Z.E.; jedes Stück ver-

brennt in 25 Z.E., welche Zahl nur einmal (für das zuletzt entzündete Stück) zu ϑ hinzuzuschlagen kommt, daher $\Theta = 8 + 25 = 33$ und $\frac{\Theta}{\vartheta} = \frac{33}{8} = 4 \cdot 125$ wird. Bei Zertheilung der Masse in 64 Stücke wird die Würfelseite jedes Stückes $= 0 \cdot 25$ d/m, die Zeit der Entzündung desselben 0·5 Z.E., und bei nacheinander erfolgender Entzündung $\vartheta = 32$ Z.E., die Verbrennungszeit eines Stückes 12·5 Z.E., daher $\Theta = 12 \cdot 5 + 32 = 44 \cdot 5$ Z.E. und $\frac{\Theta}{\vartheta} = \frac{44 \cdot 5}{32} = 1 \cdot 4$. Wird die Masse in 125 Würfel zertheilt, so findet man $\vartheta = 50$ Z.E., $\Theta = 60$ Z.E., daher $\frac{\Theta}{\vartheta} = \frac{6}{5} = 1 \cdot 2$ u. s. w.

Die totale Verbrennungszeit Θ wird bei fortgehender Zertheilung der Präparatmasse in immer kleinere Stücke anfänglich ab-, sodann aber zunehmen; bei welcher Zertheilung der Uebergang von der Ab- zur Zunahme der totalen Verbrennungszeit stattfindet, hängt hauptsächlich von Schlichtung und Form der einzelnen Stücke ab. Recapitulirt man für obige Annahmen der Zertheilung die Werthe von ϑ und $\Theta - \vartheta$, so hat man folgende Reihen:

Zahl der Stücke	$=$	1	8	64	125
Zeit der Entzündung aller Stücke .	$\vartheta =$	2	8	32	50
Zeit der Verbrennung Eines Stückes	$\Theta - \vartheta =$	50	25	12·5	10
Zeit der totalen Zersetzung	$\vartheta + (\Theta - \vartheta) = \Theta =$	52	33	44·5	60

Wie man sieht, zeigt die Reihe der Werthe Θ eine zuerst ab-, dann zunehmende Tendenz, jedoch findet der Uebergang von der Abnahme zur Zunahme des Werthes Θ schon zwischen den Stückzahlen 8 und 64 statt. Erwägt man aber, dass die angeführte Reihe der Werthe ϑ eine genau nacheinander erfolgende Entzündung der einzelnen Stücke zur Voraussetzung hat, welche Entzündungsweise nur bei der in *Fig. 1* dargestellten Anordnung der Stücke, nämlich wenn das in der Kante *a* entzündete erste Stück das zweite und so jedes das nächst folgende nur in der, der Entzündungsstelle diagonal liegenden Kante berührt, denkbar wäre; dass in der Wirklichkeit jedes Stück mehrere andere, u. zw. an verschiedenen Stellen berührt, daher die Entzündung von jedem Stück gleichzeitig und vor der vollständigen Entzündung desselben auf mehrere andere übergeht, so wird man die Zunahme der Werthe ϑ bedeutend reduciren müssen, wodurch auch der Uebergangspunkt der Ab- zur Zunahme von Θ weiter hinausgeschoben wird. Nimmt man beispielsweise für ϑ die Reihe $\vartheta = 2, 4, 8, 10$ Z.E. an, so würde sich für Θ die Reihe $\Theta = 52, 29, 20 \cdot 5, 20$ Z.E. ergeben, so dass innerhalb dieser Reihe der Grundsatz: je grösser die Zertheilung, desto kleiner die Zeit der totalen Verbrennung der ganzen Masse, giltig wäre. Dass aber bei zu weit getriebener Zertheilung die totale Verbrennungszeit wieder zunehmen muss, folgt schon aus der Verbrennungsweise einer ganz zu Staub zerriebenen Präparatmasse, welche eigentlich wieder als ein einziges Stück, nur von geringerer Dichte, zu betrachten ist.

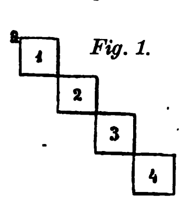


Fig. 1.

Der Einfluss der Form der Stücke ergibt sich aus dem Umstande, dass bei runden Stücken das Gas zwischen denselben frei circuliren kann, während

bei durch ebene Flächen begrenzten Stücken das Eindringen des entzündenden Gases zwischen dieselben um so schwieriger wird, je dichter die Flächen sich berühren.

Die Verbrennungszeit beeinflusst nicht in directer Weise die Gasspannung; dies könnte nur indirect, nämlich insofern geschehen, als durch die Verschiedenheit der Verbrennungszeiten die chemischen Vorgänge bei der Verbrennung modificirt werden. Hingegen ist eine gewisse Beziehung zwischen der Grösse der Gasspannung und der Verbrennungsdauer allerdings vorhanden, da den wesentlichsten Umständen nach (Punkt 4 und 5) die grösste Gasspannung mit der kürzesten Verbrennungsdauer zusammenfällt.

d) Schiesspräparate, Sprengpräparate. Brisante ballistische Wirkung.

Die Arbeit, welche die Gase eines explodirenden Präparates infolge ihres Druckes auf die Einschlusswände leisten, kann sich je nach der Natur des Einschlusses auf zwei verschiedene Arten äussern. Bildet das Einschlussgefäss ein solides, festgefügtes Ganze von principiell allseitig gleicher, jedoch (gegenüber dem Gasdruck) ungenügender Festigkeit, so besteht die Wirkung des Gases im Zerreissen, Zersprengen des Einschlussgefässes.* Ein Präparat, welches mit der Absicht auf diese Wirkung zur Verwendung gelangt, wird *Sprengpräparat* genannt.

Besteht hingegen der Einschluss aus zwei nicht mit einander fest verbundenen Theilen, von welchen der kleinere in dem grösseren nach Art eines Stempels verschiebbar ist, so besteht die Wirkung des Gases in der Bewegung beider Theile nach verschiedenen Richtungen. Die Absicht, in welcher diese Wirkung des explodirenden Präparates eingeleitet wird, ist das Forttreiben (Schiessen) des Stempels (Geschosses) auf grössere Entfernung, daher zu diesem Zwecke verwendete Präparate *Schiesspräparate* genannt werden.

---

* Ist die Festigkeit der Einschlusswände zu gross, so wird kein Zersprengen, sondern nur eine bleibende oder auch nur momentane Erweiterung des Gefässes eintreten, je nachdem die aus dem Gasdrucke resultirende, die Zerreissgrenze des Einschlussmaterials nicht erreichende Inanspruchnahme der Wände die Elasticitätsgrenze des Materials erreicht oder nicht; das eingeschlossene Gas kühlt sich durch fortwährende Ausstrahlung und Ableitung der Wärme nach und nach bis zur Temperatur der Luft ab, wodurch seine Spannung sehr bedeutend reducirt wird.

Die Erreichung einer bestimmten Entfernung bedingt, dass das fortgetriebene Geschoss bei der Trennung vom grösseren Einschlusstheile (dem Geschütze) eine bestimmte Geschwindigkeit* erlangt habe; diese Geschwindigkeit ist das Resultat der während der Bewegung des Geschosses im Geschütze stattfindenden Einwirkungen der treibenden Kraft (Gasspannung) auf das Geschoss. Nachdem die Geschwindigkeit, um als sicherer Factor für die zu erreichende Entfernung dienen zu können, vollkommen bestimmt, controlirbar, sein muss, so müssen auch die Einwirkungen der Gasspannung auf das Geschoss in einer bestimmten, controlirbaren Weise erfolgen; dies hat zur unumgänglichen Bedingung, dass das Geschütz während des Schusses nicht zersprengt werde, da sonst die Gewinnung einer beabsichtigten Geschossgeschwindigkeit dem Zufalle anheimgegeben wäre.**

Die explosiven Präparate sollen demnach entweder als Sprengpräparate das Explosionsgefäss zerstören oder als Schiesspräparate ohne Zerstörung des Explosionsgefässes einen Stempel aus demselben treiben; in ersterer Beziehung wird von ihnen eine zerstörende, in letzterer Beziehung aber eine forttreibende Wirkung gefordert. Die zerstörende (sprengende) Wirkung der Gase eines Präparates wird brisante Wirkung, die das Geschoss forttreibende aber ballistische Wirkung genannt.

Wie aus dem Vorstehenden ersichtlich, bezieht sich die Unterscheidung zwischen Spreng- und Schiesspräparaten zunächst auf den Zweck, welchen man durch die Wirkung der entbundenen Gase zu erreichen beabsichtigt und welchem die äusseren Umstände, unter denen die Explosion eingeleitet wird, entsprechen müssen. Diese Umstände fallen im Allgemeinen mit jenen zusammen, welche in *a)* als Bedingung für die Spannung des Gases bei constantem Volum und bei constantem Drucke angeführt wurden: das Sprengpräparat wirkt bei constantem Volum des Explosionsraumes, die Wirkung des Schiesspräparates aber kann im Wesentlichen als unter dem Einflusse eines constanten Druckes (Widerstand gegen die Geschoss-

* Mit Hinblick auf die Betrachtung der Geschossbewegung ausserhalb des Geschützes wird diese Geschwindigkeit Anfangsgeschwindigkeit genannt.

** Die praktischen Gründe für die Unzerstörbarkeit der Geschütze, als: die Nothwendigkeit, ein Geschütz für mehrere Schüsse zu benützen, die Gefährlichkeit des Schiessens im Falle des Zerspringens des Geschützes etc., kommen hier nicht in Betracht.

bewegung) erfolgend angesehen werden. Principiell könnte demnach jedes Präparat sowol als Spreng- wie als Schiesspräparat verwendet werden. Jedoch wird, entsprechend den verschiedenen Bedingungen für die beiden Verwendungsweisen, auch die Eignung der explosiven Präparate zu dem einen oder anderen Zwecke eine verschiedene sein, und man nennt solche Präparate, welche sich zu Sprengzwecken sehr gut, zu Schiesszwecken aber wenig oder gar nicht eignen, Sprengpräparate, die vorzüglich zu Schiesszwecken sich eignenden aber Schiesspräparate im engeren Sinne.

Aus der Wirkungsweise ergeben sich folgende Anforderungen an die Präparate, insoferne sie als Spreng- oder als Schiesspräparate charakterisirt werden sollen: Das Sprengpräparat soll eine möglichst grosse brisante Wirkung haben, während auf eine ballistische Wirkung überhaupt nicht reflectirt wird; das Schiesspräparat aber soll die Erreichung einer bestimmten ballistischen Wirkung bei einer möglichst geringen brisanten Wirkung ermöglichen.

Die Fähigkeit zur Hervorbringung zerstörender Wirkungen, die Brisanz, bildet demnach den Grund zur Unterscheidung der Präparate in Schiess- und Sprengpräparate. Die Brisanz ist das Resultat von zwei Factoren: der Gasspannung und der Verbrennungsdauer. Bei einer und derselben Gasspannung wird die zerstörende Wirkung um so grösser sein, je kürzer der Verbrennungsprocess andauert, weil das angegriffene Material durch einen momentanen grösseren Druck leichter zersprengt wird, als wenn dieser Druck langsam anwächst, in welch' letzterem Falle die durch den Druck bewirkten Molecularverschiebungen sich weiter fortpflanzen können, daher die unmittelbar angegriffene Stelle nicht so stark in Anspruch genommen wird. Bei langsamer verbrennenden Präparaten reicht demnach die Wirkung räumlich weiter, ist hingegen örtlich schwächer, während bei rascher verbrennenden Präparaten die räumliche Verbreitung der Wirkung beschränkt ist, infolge dessen sie örtlich um so stärker und intensiver auftritt. Dass von zwei gleich schnell verbrennenden Präparaten dasjenige eine grössere brisante Wirkung ausüben wird, welchem eine grössere Gasspannung zukommt, ist von selbst klar. Somit gilt bei Präparaten von gleicher Gasspannung die Verbrennungsgeschwindigkeit, bei Präparaten von gleicher Verbrennungsgeschwindigkeit aber die Gasspannung als Masstab der Brisanz. Präparate von grosser Brisanz, Sprengpräparate, sind also solche Präparate, welche bei Ent-

wicklung einer hohen Gasspannung sehr rasch verbrennen; Schiesspräparate aber solche, welche langsamer verbrennen und keine allzuhohe Gasspannung entwickeln.*

Bei den Schiesspräparaten ist, entsprechend der Art ihrer Anwendung, eine langsamere Verbrennung geeignet, bei einer bestimmten, dem Präparate als solchem eigenthümlichen Gasspannung die während der Geschossbewegung wirklich auftretenden Spannungen zu vermindern, daher die specielle Brisanz noch weiter herabzudrücken. Dies wird erzielt, wenn das Präparat nicht gänzlich verbrennt, bevor sich das Geschoss in Bewegung setzen kann, d. h. wenn die Verbrennung des Präparates während der Bewegung des Geschosses im Geschützrohre noch fortdauert, so dass die Gasspannung, welche vermöge der fortschreitenden Entwicklung der Gase im unveränderlichen Explosionsraume stetig wachsen müsste, infolge der durch die Bewegung des Geschosses bedingten Erweiterung des Explosionsraumes ermässigt wird. Die Gasspannung kann in diesem Falle niemals so stark anwachsen, als dies geschehen würde, wenn die Erweiterung des Explosionsraumes (Bewegung des Geschosses) erst nach vollständiger Verbrennung des Präparates beginnt.

Als Ausdruck der brisanten Wirkung in jedem speciellen Fall der Anwendung eines Schiesspräparates kann die im Geschützrohre auftretende grösste Gasspannung gelten, während die ballistische Wirkung in der vom Geschosse erlangten Anfangsgeschwindigkeit ihren Ausdruck findet.

Es ist selbstverständlich, dass man bei der praktischen Verwendung der Präparate die äusseren Umstände derart zu regeln sucht, um beim Gebrauche zu Sprengzwecken die Brisanz so viel als möglich zu steigern, beim Gebrauche zu Schiesszwecken aber möglichst herabzumindern. Dies spricht sich insbesondere in der Wahl der Entzündungsmittel aus: Die Entzündung von Sprengpräparaten wird daher in der Regel durch starke Initialexplosionen,** jene der Schiesspräparate aber durch schwache Initialexplosionen

---

* Nachdem die hier hervorgehobenen Unterscheidungsmerkmale keinen absoluten Gegensatz, sondern nur eine gradweise Verschiedenheit bezeichnen, so ist eine scharfe Sonderung der explosiven Präparate in Schiess- und Sprengpräparate nicht möglich; jede solche Sonderung hat etwas Willkürliches an sich und kann keine allgemeine Geltung beanspruchen.

** Die stärksten Entzündungsmittel, welche eine Detonation des Präparates hervorrufen, werden Detonateure genannt.

oder durch die gewöhnliche Entzündungsart (Berührung mit einem glühenden Körper, Flamme etc.) eingeleitet.

Zur näheren Erklärung der brisanten und der ballistischen Wirkung bei Schiesspräparaten möge Nachstehendes dienen. Um einem Körper von der Masse m eine Geschwindigkeit v zu ertheilen, muss auf denselben eine Kraft (ein Druck) P während einer bestimmten Zeit wirken, in welcher der Körper den Weg l zurücklegt. Ist die Kraft P constant, so besteht zwischen diesen Grössen, wenn von den Widerständen, welche sich der Bewegung des Körpers entgegenstellen, abgesehen wird, folgende Relation: $Pl = \frac{1}{2} mv^2$. Pl bedeutet die Arbeit der treibenden Kraft, $\frac{1}{2} mv^2$ die lebendige Kraft des in Bewegung gesetzten Körpers, v die Geschwindigkeit, welche der Körper am Ende des Weges l erlangt hat. Wenn die Kraft P zu wirken aufhört, so bewegt sich der Körper mit der erlangten Geschwindigkeit v so lange fort, bis eine neue beschleunigende oder verzögernde (im Sinne der Bewegung oder entgegen derselben wirkende) Kraft eingreift und eine Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit herbeiführt. Nimmt man an, dass in dem Momente, in welchem die Kraft P zu wirken aufhört, eine andere constante Kraft P' in demselben Sinne (also beschleunigend) zu wirken beginnt und so lange wirkt, bis der Körper den Weg l' zurücklegt, dass ferner diese Kraft die Geschwindigkeit des Körpers von v auf v' steigert, so besteht die Relation $P'l' = \frac{1}{2} m(v'^2 - v^2)$.

Denkt man sich den ganzen Weg L, welchen ein Geschoss von der Masse m in einem Geschützrohre zurücklegt, in mehrere Theile (Bewegungsabschnitte) $l_1 l_2 l_3 \ldots$ eingetheilt, nimmt man ferner an, dass innerhalb dieser Bewegungsabschnitte beziehungsweise die constanten Kräfte (Gasdrücke) $P_1 P_2 P_3 \ldots$ herrschen und das Geschoss am Ende der Bewegungsabschnitte successive die Geschwindigkeiten $v_1 v_2 v_3 \ldots$ erlangt hat, so hat man nach dem Vorhergehenden die Relationen:

$$\begin{aligned} P_1 l_1 &= \tfrac{1}{2} m v_1^2 \\ P_2 l_2 &= \tfrac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \\ P_3 l_3 &= \tfrac{1}{2} m(v_3^2 - v_2^2) \\ &\vdots \\ P_n l_n &= \tfrac{1}{2} m(v_n^2 - v_{n-1}^2) \end{aligned}$$

Summirt man alle Glieder auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens und setzt zur Abkürzung $P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 + \ldots P_n l_n = \Sigma Pl$, so ist $\Sigma Pl = \frac{1}{2} m v_n^2$ (die totale Arbeit der forttreibenden Kräfte gleich der schliesslich erlangten lebendigen Kraft des in Bewegung gesetzten Körpers). v_n ist die vom Geschosse am Schlusse der ganzen Bewegung, nach dem Durchlaufen des Weges L, erlangte Geschwindigkeit, die Anfangsgeschwindigkeit, also der Ausdruck für die ballistische Wirkung des Präparates. Die Grössen $P_1 P_2 \ldots$ repräsentiren die nacheinander folgenden Gasdrücke auf den Geschossboden, wie sie aus der infolge der Geschossbewegung resultirenden successiven Raumerweiterung sich ergeben. Die brisante Wirkung ist demnach in dem grössten unter allen Werthen von P ausgedrückt.

Die obige Gleichung kann man auch, wenn die Anfangsgeschwindigkeit mit V bezeichnet wird, $\Sigma Pl = \frac{1}{2} m V^2$ schreiben, woraus ersichtlich wird, dass ein bestimmter Werth von $\frac{1}{2} m V^2$ oder, was dasselbe ist (da m constant bleibt),

ein bestimmter Werth von V aus unzähligen Combinationen verschiedener Werthe von $P_1 P_2 P^3 \ldots$ resultiren kann, wenn nur durch diese Combinationen die totale Arbeit ΣPl nicht verändert wird. Um sich dies zu versinnlichen, kann das Diagramm *Fig. 2* dienen, in welchem als Abscissenabschnitte die Längen der Bewegungsabschnitte, als Ordinaten die Druckkräfte aufgetragen sind; die einzelnen Arbeiten Pl sind durch die Flächeninhalte der Rechtecke ABa_1b_1, $a_1b'_1a_2b_2 \ldots$, die totale Arbeit ΣPl aber durch die Summe dieser Rechtecke, also durch den Flächeninhalt der von $ABb_1b'_1b_2b'_2 \ldots . b_8a_8A$ begrenzten Fläche dargestellt. Dass derselbe Flächeninhalt ΣPl auch aus acht anderen Rechtecken, in welchen die kurzen Seiten $l_1l_2 \ldots$ dieselbe, die langen Seiten $P_1P_2 \ldots$ aber eine verschiedene Grösse haben (wie in *Fig. 3*), zusammengestellt werden kann, ist klar. Ebenso ist leicht ersichtlich, dass bei jeder Combination von Werthen für $P_1P_2 \ldots$ der grösste Werth von P ein anderer sein kann, dass daher, wenn man die dem grössten Werth von P entsprechende Maximalgasspannung als den speciellen Ausdruck der brisanten Wirkung betrachtet, eine und dieselbe ballistische Wirkung (Anfangsgeschwindigkeit) sich bei verschiedenen brisanten Wirkungen ergeben kann, wie auch umgekehrt verschiedene ballistische Wirkungen bei einer und derselben brisanten Wirkung denkbar sind. Hieraus folgt, dass eine Steigerung der ballistischen Wirkung nicht unbedingt von einer Steigerung der brisanten Wirkung (Maximalgasspannung) begleitet sein muss, sondern dass diese auch gleich bleiben, ja abnehmen kann.

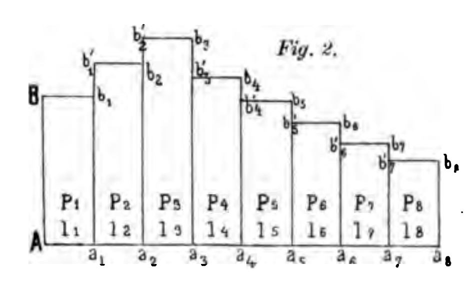


Fig. 2.

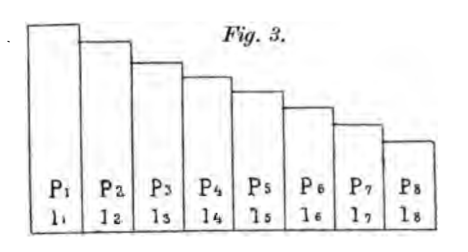


Fig. 3.

Ein numerisches Beispiel wird dies klar machen. Bei einem 15 cm Geschütze, dessen Durchmesser 149·1 mm ist, bringt die Gasspannung von 1 Atm. $= 1{\cdot}03$ kg auf 1 □cm einen Druck von rund 180 kg auf den Geschossboden hervor; nimmt man das Geschossgewicht mit 39·2 kg, die Beschleunigung der Schwerkraft mit rund $g = 9{\cdot}8$ m an, so dass $m = \frac{39{\cdot}2}{9{\cdot}8} = 4$ wird, bezeichnet ferner p die Gasspannungen in Atm. (daher $P = 180p$ den totalen Druck auf den Geschossboden in Kilogr.), so gilt für diesen Fall, wenn die Geschwindigkeiten v und die Längen der Bewegungsabschnitte l in Metern ausgedrückt werden, die allgemeine Gleichung $P_n l_n = 180 p_n l_n = 2(v_n^2 - v_{n-1}^2)$. Denkt man sich die ganze Länge $L = 2{\cdot}8$ m der Geschossbewegung in acht gleiche Bewegungsabschnitte zu 0·35 m eingetheilt, so erhält man bei entsprechender Variation der Werthe von p folgende Zusammenstellung:

Bewegungs-Abschnitt	1. Combination			2. Combination			3. Combination			4. Combination			5. Combination		
	p	Pl	v_n	p	Pl	v	p	Pl	v	p	Pl	v	p	Pl	v
	Atm.	$^{k}/_{g}{}^{m}/$	$^{m}/$	Atm.	$^{k}/_{g}{}^{m}/$	$^{m}/$	Atm.	$^{k}/_{g}{}^{m}/$	$^{m}/$	Atm.	$^{k}/_{g}{}^{m}/$	$^{m}/$	Atm.	$^{k}/_{g}{}^{m}/$	$^{m}/$
1.	**2400**	151200	275	800	50400	159	**1000**	63000	178	1200	75600	195	**1200**	75600	195
2.	1550	97650	353	1200	75600	251	1000	63000	251	1500	94500	292	1200	75600	275
3.	1100	69300	399	**1700**	107100	341	1000	63000	307	**1700**	107100	373	1200	75600	337
4.	850	53550	431	1400	88200	401	1000	63000	355	1600	100800	435	1200	75600	389
5.	680	42840	455	1100	69300	442	1000	63000	397	1400	88200	483	1200	75600	435
6.	550	34650	474	800	50400	470	1000	63000	435	1100	69300	517	1200	75600	476
7.	470	29610	489	600	37800	489	1000	63000	470	800	50400	541	1200	75600	514
8.	400	25200	**502**	400	25200	**502**	1000	63000	**502**	300	18900	**550**	1200	75600	**550**
.	$\Sigma Pl = 504000$			$\Sigma Pl = 504000$			$\Sigma Pl = 504000$		.	$\Sigma Pl = 604800$		—	$\Sigma Pl = 604800$		—

Allerdings sind die veränderlichen Werthe von P in der Wirklichkeit nicht constant innerhalb der Bewegungsabschnitte, d. h. das P ändert sich nicht sprungweise, wie hier vorausgesetzt wurde, sondern continuirlich; hiedurch werden aber die dargelegten Verhältnisse durchaus nicht alterirt. Es erscheint nur die totale Arbeit der treibenden Kraft, wenn der vom Geschosse zurückgelegte Weg allgemein mit x bezeichnet wird, unter der Form $\int_0^L P dx$, wobei, um die Integration ausführen zu können, P als eine Function von x dargestellt werden muss. Graphisch versinnlicht, bedeutet dieser Ausdruck den Inhalt der von der Curve *AMN*, der Abscisse *OL* und den beiden äussersten Ordinaten *OA* und *LN* (*Fig. 4*) begrenzten Fläche, und es ist klar, dass man beliebig viele solche Curven ziehen kann, ohne dass eine Aenderung des Flächeninhaltes eintritt, sowie dass die Vergrösserung des Flächeninhaltes durchaus nicht eine Vergrösserung der höchsten Ordinate (P_{max}) zur Bedingung hat, etc.

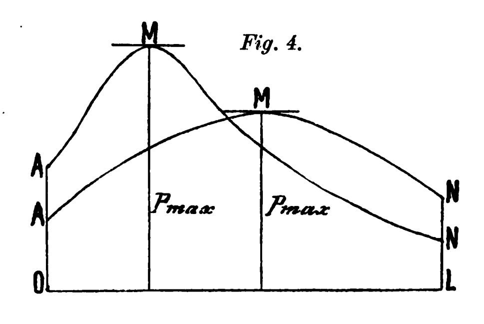


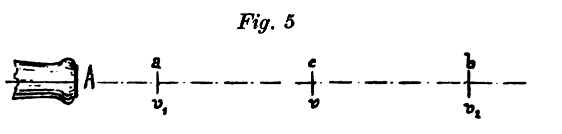
Fig. 4.

An der Gleichung $\int_0^L P dx = \frac{1}{2} m V^2$ lässt sich auch der Unterschied zwischen brisanten und minder brisanten Schiesspräparaten deutlich machen. Die brisantesten Präparate sind solche, bei welchen die Verbrennungsdauer so kurz ist, dass die ganze Präparatmasse vollständig verbrennt, bevor sich das Geschoss in Bewegung setzen kann; das Maximum der Gasspannung tritt im Ladungsraume auf, da jede folgende ausschliesslich durch die Raumerweiterung infolge der Geschossbewegung bedingte Spannung immer kleiner werden muss. Die Abnahme der Gasspannungen geschieht nach dem Poisson'schen Gesetz. Bezeichnet man mit p_0 die im Ladungsraume, mit p die in einem anderen, durch die vom Geschoss zurückgelegte Weglänge x bedingten grösseren Raume stattfindende Gasspannung, mit l_0 die Länge des Ladungsraumes und mit r den Radius der Bohrung (im

e) Messen der Anfangsgeschwindigkeiten und Gasspannungen.

Die *Anfangsgeschwindigkeit* v eines Geschosses ergibt sich aus der Zeit t, welche das Geschoss unmittelbar nach dem Verlassen des Geschützes braucht, um einen Weg von bekannter Länge $ab = s$ *(Fig. 5)* zurückzulegen. Das Geschoss beschreibt ausserhalb des Geschützrohres eine krummlinige

Fig. 5



Bahn mit ungleichförmig veränderlicher Geschwindigkeit; jedoch kann innerhalb des Weges ab, wenn dieser nicht lang ist, die Bahn als eine geradlinige und die Geschwindigkeit als eine gleichförmig veränderliche angesehen werden. Unter dieser Voraussetzung kann ohne grossen Fehler die aus der gemessenen Distanz $s = ab$ und der für dieselbe beobachteten Flugzeit t nach der Gleichung $v = \frac{s}{t}$ folgende Geschwindigkeit v für die dem zwischen a und b in der Mitte liegendem Punkte c entsprechende Geschossgeschwindigkeit gelten.

Das Messen der Zeit t kann nur durch die nach bekannten Gesetzen vor sich gehende Bewegung eines anderen Körpers (Zeitmessers) geschehen. Diese Bewegung muss in dem Momente beginnen, wenn das Geschoss den Punkt a erreicht, und aufhören, wenn das Geschoss in den Punkt b gelangt, oder es muss in der fortgehenden Bewegung des Zeitmessers der Anfang und das Ende der Zeit t (Anlangen des Geschosses in a und b) markirt werden.

Gegenwärtig wird allgemein der elektrische Strom (oder vielmehr die Unterbrechung eines solchen) benützt, um die Bewegung des Zeitmessers einzuleiten oder den Anfang und das Ende der Zeit t am Zeitmesser zu markiren. Der gebräuchlichste, nach diesem Princip construirte Geschwindigkeitsmesser ist der *Chronograph von Le Boulengé*, bei welchem die Zeit t durch die Bewegung eines frei fallenden Körpers gemessen wird. Dieser Apparat *(Fig. 6)* besteht aus zwei Elektromagneten A und B, welche an einer Säule S befestigt sind; die Leitungen *1, 1, 1* ... und *2, 2, 2* ... der diese Magnete umkreisenden, von den elektrischen Batterien M und N ausgehenden beiden Ströme sind über zwei mit Drahtgittern versehene Rahmen a und b geführt, welche in einer bestimmten Entfernung $= s$ von

einander in bekannten Abständen von der Mündung des Geschützes aufgestellt sind.

Der Elektromagnet A trägt einen längeren, mit einer Zinkhülse bekleideten metallenen Stab, den eigentlichen Chronometer P, der Elektromagnet B aber einen kürzeren Stab Q. In dem Momente, als das Geschoss in den Rahmen a einschlägt und den an demselben gespannten Leitungsdraht *1* zerreisst, verliert der Eisenkern in A seinen Magnetismus und der Stab P fällt frei herab; dasselbe geschieht mit dem Stab Q in dem Momente, als das Geschoss in den Rahmen b einschlägt und die Stromleitung *2* durchreisst. Der Stab Q fällt auf das linksseitige Ende c *(Fig. 6, I)* eines um die horizontale Axe d drehbaren zweiarmigen Hebels, dessen rechtsseitiges Ende e hakenförmig nach abwärts gebogen ist und eine am Postament der Säule S befestigte Feder f, welche ein Messer g trägt, gespannt hält; durch das Auffallen des Stabes Q wird der Arm c nach abwärts gestossen, der Arm e lässt die Feder f los, welche nach rechts ausschlägt und hiebei mit dem Messer g eine scharfe Kerbe in die Zinkhülse des fallenden Stabes P schlägt. Aus der Entfernung H dieser Kerbe von dem Punkte 0 am Stabe P, mit welchem vor dem Fallen desselben das Messer g correspondirt, ergibt sich nach der Formel $T = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ die Zeit T, welche von dem Beginne der Fallbewegung des Stabes P bis zum Schlagen der Kerbe vergeht. Diese Zeit ist zusammengesetzt aus der Zeit t, welche zwischen dem Beginne der Fallbewegung der beiden Stäbe P und Q (Einschlagen des Geschosses in a und b) vergeht, und der Zeit t', welche die Fallbewegung des Stabes Q sowie das Ausschnellen des Federhalters und der Feder in Anspruch nimmt; es muss demnach von der Zeit T, welche die Fallhöhe H gibt, die Arbeitszeit des Apparates t' abgezogen werden, um die dem Wege s des Geschosses entsprechende Flugzeit t zu erhalten. Die Zeit t' wird vor dem Schusse dadurch ermittelt, dass beide elektrischen Ströme gleichzeitig unterbrochen werden, wodurch der Beginn der Bewegung der beiden Stäbe P und Q zusammenfällt und das Messer eine zweite Kerbe schlägt; aus der Entfernung h dieser Kerbe vom Punkte 0 ergibt sich $t' = \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

Zur gleichzeitigen Unterbrechung der beiden Ströme dient der *Disjoncteur* D *(Fig. 6)*, welcher in die beiden Stromleitungen eingeschaltet ist. Der Disjoncteur *(Fig. 6, II)* hat zwei (nach abwärts)

federnde Spangen *k* und *k'*, welche einerseits mit den Leitungsdrähten verbunden sind, andererseits aber zwei ebenfalls mit den Leitungsdrähten verbundene Metallstifte *i* berühren; zwischen den Spangen ist der (nach aufwärts) federnde Arm *L* angebracht, welcher mit einem Querarm *l* unter die Spangen *k* und *k'* reicht und durch die Hakenfeder *r* derart gespannt gehalten wird, dass der Querarm die Spangen nicht berührt. Wird die Hakenfeder *r* zurückgezogen, so dass sie den Arm *L* loslässt und dieser nach aufwärts ausschnellt, so hebt der Querarm *l* gleichzeitig die Spangen *k* und *k'* von den Stiften *i*, wodurch beide Stromleitungen unterbrochen werden.

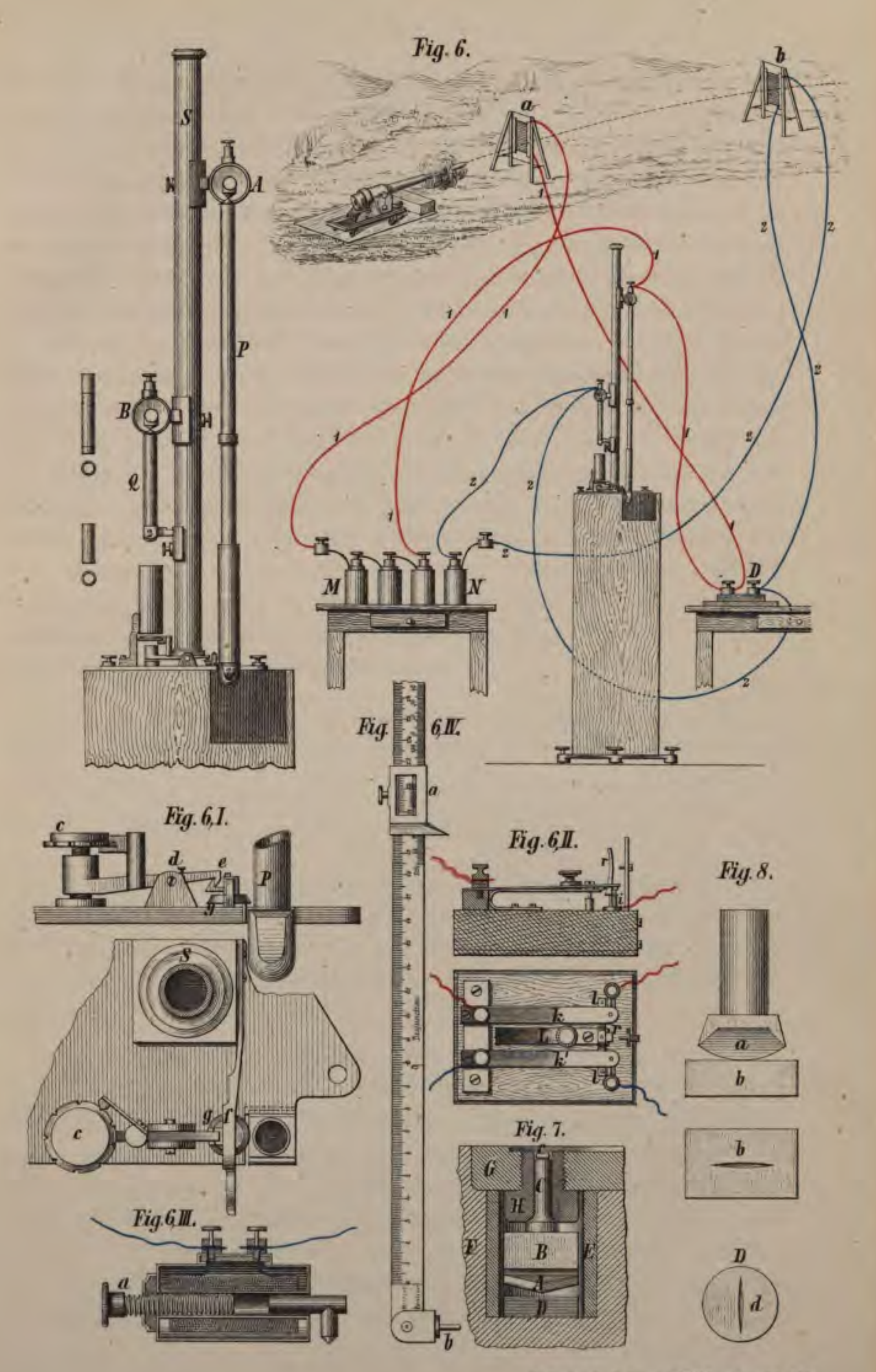
Es ist für die Richtigkeit der Angaben des Apparates von Wichtigkeit, dass die magnetische Kraft der Elektromagnete nur so gross sei, um die angehängten Gewichte *P* und *Q* mit Sicherheit zu tragen und bei Unterbrechung der elektrischen Ströme momentan loszulassen, welch letzteres (wegen des im Eisenkern für einige Zeit zurückbleibenden — remanenten — Magnetismus) nicht geschehen würde, im Falle die magnetische Kraft zu gross wäre. Um die Kraft der Magnete regeln zu können, ist der Kern *(Fig. 6, III)* mit einer Regulirschraube *a* versehen; durch Zurückschrauben der Regulirschraube wird die magnetische Kraft bei gleichbleibender Stärke des elektrischen Stromes geschwächt. Zur Vornahme dieser Regulirung werden die Stäbe *P* und *Q*, mit Uebergewichtshülsen versehen, an die Elektromagnete angehängt und sodann die Regulirschrauben der Elektromagnete so weit zurückgeschraubt, bis die Stäbe infolge ihres Gewichtes von selbst herabfallen; bei dieser Stärke werden die Elektromagnete die von den Uebergewichtshülsen befreiten Stäbe mit Sicherheit tragen, ohne zu stark zu sein.

Um die Fallhöhen bequem abmessen zu können, ist jedem Apparat ein Masstab *(Fig. 6, IV)* mit verschiebbarer Zeigerhülse *a* beigegeben, welcher an einem Ende mit einem Stift *b* zum Feststecken in den Stab *P* versehen ist. Ausser der Millimetertheilung für Fallhöhen ist auf dem Masstab auch eine Eintheilung angebracht, welche sofort die Geschossgeschwindigkeit abzulesen gestattet, im Falle die Entfernung $s = ab$ der beiden Drahtrahmen 50 $^m/$ und die durch die Disjonction erhaltene Fallhöhe *h* derart regulirt ist, dass $t' = 0{\cdot}15$ Secunden beträgt. Das letztere kann durch entsprechende Veränderung der Entfernung des (am Elektromagneten hängenden) Gewichtes *Q* von *c* geschehen, zu welchem Zwecke in den Hebelarm *c* des Federhalters eine Schraube eingesetzt ist, auf deren Kopf das Gewicht *Q* auffällt: Durch Tieferschrauben dieser Schraube wird die angeführte Entfernung (daher auch die Zeit *t'*) vergrössert, durch Zurückschrauben der Schraube aber verkleinert.

Das *Messen der Gasspannungen* geschieht gegenwärtig grösstentheils mittelst des von *Rodman* construirten Gasspannungsmessers, welcher in *Fig. 7* * dargestellt ist. Dieser besteht aus einem Messer *A*,

---

* *Fig. 7* versinnlicht die Anordnung bei den Verschlüssen der Stahlrohre der k. k. Kriegsmarine. *F* bezeichnet den Verschluss, *G* die Liderungsplatte, *H* ein in die Liderungsplatte eingesetztes Führungsstück des Stieles *C*.



Lith. im k. k. t. & a. Militär-Comité, 1881.



dessen Schneide stumpfwinklig gebrochen ist; das Messer ist in das, mit cylindrischem Stiel *C* versehene prismatische Stück *B* eingelassen und berührt mit seiner Spitze die cylindrische Kupferscheibe *D*. Alle diese Theile sind in den Kolben *E* eingesetzt, welcher in das Explosionsgefäss (beim Messen der Gasspannungen in Geschützröhren in die Rohrwand an der Stelle, wo die Gasspannung ermittelt werden soll, eventuell in den Stoss- oder Geschossboden) derart eingeschraubt wird, dass die obere Fläche des Stieles *C*, welche durch eine Metallkapsel *c* abgedichtet ist, der Einwirkung des Gases ausgesetzt ist. Durch den Druck des Gases wird das Messer *A* in die Kupferscheibe *D* eingedrückt und erzeugt in dieser eine Kerbe *d*, welche um so länger sein wird, je grösser der Gasdruck war; es wird daher aus der Länge der Kerbe *d* auf die Grösse des thätig gewesenen Gasdruckes geschlossen. Das Verhältniss der Kerbenlänge zum Gasdrucke wird durch vorhergängige Belastungen des Stieles *C* (mittelst Gewichten oder durch hydraulischen Druck) ermittelt und in einer Tabelle zusammengestellt, welcher bei Verwendung des Apparates zu Gasspannungsmessungen der der jedesmal erhaltenen Kerbenlänge entsprechende Gasdruck entnommen wird.

Ist q in $^{k}/_{g}$ der auf den Stiel vom Radius ϱ in Centimetern thätige Druck, welcher eine Kerbe von der Länge λ hervorbringt, so entspricht diesem Drucke die Gasspannung $p = \frac{q}{1 \cdot 03 \varrho^2 \pi}$ Atm. Beispiel für $\varrho = 0 \cdot 5$ $^{c}/_{m}$, $q = 1000$ $^{k}/_{g}$ ist $p = \frac{1000}{0 \cdot 809} = 1236$ Atm.

In der österr. Artillerie wird der *Gasspannungsmesser von Uchatius (Fig. 8)* angewendet, welcher dem Rodman'schen im Wesentlichen ähnlich eingerichtet ist und sich von demselben nur dadurch unterscheidet, dass die Messerschneide *a* bogenförmig gestaltet ist und gegen eine rechteckige Zinkplatte *b* gedrückt wird.

In der englischen Artillerie wird die Gasspannung durch das Mass der Zusammendrückung eines zwischen dem Amboss *B* und dem Druckstempel *C (Fig. 9)* eingesetzten Kupfercylinders *A (Crusher gauge)* bestimmt, wobei die obere Fläche des Stempels *C* dem Gasdrucke ausgesetzt ist. Die Uhrfeder *a* bewirkt die Centrirung des Kupfercylinders. Der Amboss ist geriffelt und mit vier Kanälen versehen, welche in den Kanal *b* münden und den allenfalls eindringenden Pulvergasen den Abzug gestatten. Die Abdichtung des Stempels ist analog wie bei den vorbeschriebenen Apparaten.

f) Chemische Constitution der explosiven Präparate; Anforderungen, welche an dieselben gestellt werden.

Nachdem die Explosion ein in kurzer Zeit und ohne Hinzutreten anderer, als der im Präparate enthaltenen Stoffe vor sich gehender Verbrennungsprocess ist, bei welchem eine beträchtliche Wärmemenge frei wird, so gehören zu den wesentlichsten Bestandtheilen eines explosiven Präparates ein *Verbrennungsmittel* und ein *Verbrenner*, welch' letzterer mit dem Verbrennungsmittel rasch gasförmige Verbindungen einzugehen und dabei bedeutende Wärmemengen zu entbinden geeignet ist. Ein kräftiges und in der Natur reichhaltig vorhandenes Verbrennungsmittel ist der Sauerstoff, während der ebenfalls reichlich vertretene Kohlenstoff einen Verbrenner von den vorangeführten Eigenschaften bildet: Sauerstoff und Kohlenstoff sind demnach als Typen der beiden elementaren Hauptbestandtheile von explosiven Stoffen anzusehen. Von diesen Stoffen ist der Kohlenstoff fest und kann daher für sich allein oder in geeigneter Verbindung im explosiven Körper vorkommen; der Sauerstoff dagegen, der im freien Zustande gasförmig ist, muss im Präparat immer an andere Körper gebunden sein, u. z. in solcher Form, dass der Sauerstoffträger einen möglichst geringen Raum einnehme und dass aus der Verbindung sämmtlicher Sauerstoff durch relativ geringe Kräfte ausgeschieden werden könne. Sind die im Sauerstoffträger ausser Sauerstoff vorhandenen Bestandtheile geeignet, für sich oder in Verbindungen mit einander in Gasform zu bestehen, so tragen sie zur Vermehrung der Gase bei; treten sie aber in fester Form auf, so bilden sie den Rückstand. In einem wie im andern Falle können sie, insoferne sie durch Verbrennung (Verbindung) entstanden sind, zur Steigerung der entbundenen Wärmemenge beitragen.

Im Wesentlichen lassen sich die explosiven Präparate in zwei Gruppen eintheilen:

1.) Mechanische Gemenge. Die hauptsächlichsten Bestandtheile derselben sind:

a) Der *Träger des Verbrennungsmittels,* meist eine sauerstoffreiche chemische Verbindung, als deren Typus die Nitrate: Kaliumnitrat (Kalisalpeter) KNO_3, Natriumnitrat (Natronsalpeter) $NaNO_3$, Baryumnitrat (Barytsalpeter) $Ba(NO_3)^2$, Amoniumnitrat $(NH_4)NO_3$ etc. gelten können.

b) Der *Träger des Kohlenstoffs;* der wichtigste ist die vegetabilische Kohle (Holzkohle), es werden aber auch Steinkohle oder organische Kohlenstoffverbindungen: Stärke, Zucker, Sägemehl, Kleie etc. verwendet.

c) In der Regel kommt noch ein dritter Bestandtheil hinzu, welcher geeignet ist, mit Bestandtheilen des Sauerstoffträgers solche Verbindungen zu bilden, dass sämmtlicher Sauerstoff zur Verbrennung frei wird. Der Typus dieses Bestandtheils ist der *Schwefel* im Schiesspulver, welchem auch die Aufgabe zufällt, das Gemisch leichter entzündlich zu machen und das Körnen des Pulvers zu ermöglichen.

Das Gewichtsverhältniss, in welchem jeder dieser drei Bestandtheile im Präparate vertreten ist, wird die *Dosirung* des Präparates genannt.

2.) Chemische Verbindungen. Zu diesen gehören vorzüglich solche organische Verbindungen, welche bei Behandlung von organischen Stoffen mit Salpetersäure entstehen. Man nennt diese Körper *nitrirte Verbindungen* oder *Nitrokörper.* Bei der Nitrirung organischer Körper treten ein oder mehrere Molecule Stickstofftetroxyd NO_2 aus der Salpetersäure anstatt ebensoviel Atomen Wasserstoff in die organische Verbindung ein, während der ausgeschiedene Wasserstoff mit dem Hydroxyl der Salpetersäure Wasser bildet. Je nach der Anzahl der in die Verbindung eintretenden Molecule Stickstofftetroxyd wird die Nitrirung eine ein-, zwei-, dreifache genannt; die dreifache Nitrirung ist die wichtigste und liefert die kräftigsten explosiven Präparate.

Das Schema, nach welchem die Nitrirung vor sich geht, ist: $C_aH_bO_c + nHNO_3 = C_aH_{(b-n)}(NO_2)^nO_c + nH_2O$; für $n = 3$ (dreifache Nitrirung) $C_aH_bO_c + 3HNO_3 = C_aH_{b-3}(ON_2)^3O_c + 3H_2O$.

Durch Nitrirung wird dem organischen Stoff, welcher bereits die beiden elementaren Hauptbestandtheile: Kohlenstoff und Sauerstoff (eventuell den ersteren, allein) enthält, die für die Explosion (selbständige Verbrennung) nöthige grössere Menge von Sauerstoff zugeführt. Die wichtigsten der bis jetzt durch Nitrirung explosiv gemachten organischen Stoffe sind: Cellulose (Baumwolle) $C_6H_{10}O_5$, Glycerin $C_3H_8O_3$, Amylum (Stärkemehl) $C_6H_{10}O_5$, Mannit $C_3H_7O_3$, Phenol C_6H_6O.

Neueren Untersuchungen zufolge sind die aus einigen dieser Stoffe durch Behandlung mit Salpetersäure gewonnenen explosiven Präparate ihrem chemischen Verhalten nach nicht als Nitroverbindungen, sondern als Salpetersäure-

Aether zu betrachten. Diesem nach würden die *n* Gruppen NO_2 eben so viele Wasserstoffatome in den Hydroxylen eines mehratomigen Alkohols vertreten, während die ausgeschiedenen Wasserstoffatome mit den restirenden Hydroxylen der Salpetersäure Wasser bilden, wie folgendes Schema allgemein darstellt:

$$C_aH_b(OH)_c + nNO_2\cdot OH = C_aH_b(OH)_{c-n}(O\cdot NO_2)_n + nH_2O.$$

Die *Anforderungen,* welche man an explosive Präparate stellt, insoferne sie als Schiess- und Sprengpräparate verwendet werden sollen, sind ausser einer genügenden Leistungsfähigkeit im Allgemeinen:

1.) Das Präparat soll eine entsprechende *Entzündungstemperatur* haben, — nicht zu gross, um nicht die Anwendung aussergewöhnlich starker Entzündungsmittel zu bedingen, insbesondere aber nicht zu klein, damit nicht durch gewöhnlich vorkommende Lufttemperaturen oder durch die bei den gewöhnlichen Manipulationen mit dem Präparat unvermeidlichen Stösse, Erschütterungen etc. eine Selbstentzündung eintritt. (Ungefährlichkeit der Erzeugung, Elaborirung und Transportirung.) *

2.) Bei Temperaturschwankungen soll die Entzündlichkeit des Präparates nicht wesentlich modificirt (erleichtert oder erschwert) werden; im Falle bei niederen Temperaturen ein Gefrieren eintritt, soll das Aufthauen ohne Gefahr vor Selbstentzündung vorgenommen werden können.

3.) Das Präparat soll *chemische Stabilität* haben, d. h. unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht grösseren Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung seiner Theile unterliegen, wodurch einerseits seine Leistungsfähigkeit verändert, andererseits aber infolge der chemischen Reactionen seine Temperatur gesteigert werden und zur Selbstentzündung führen könnte (Ungefährlichkeit der Aufbewahrung); ebenso soll eine Entwicklung von der Gesundheit nachtheiligen Gasen ausgeschlossen sein.

4.) Das Präparat soll nicht zu stark *hygroskopisch* sein, da durch die Aufnahme von Feuchtigkeit die Kraft des Präparates geschwächt und eine rasche Deteriorirung herbeigeführt wird.

5.) Im Interesse der leichteren Untersuchung des Präparates auf seine Qualitätsmässigkeit sollen die *Kennzeichen* für seine Güte und für eine eventuell eingetretene Verminderung der Qualität durch einfache Mittel leicht zu constatiren sein; dies wird besonders der

---

* Bei zu Kriegszwecken bestimmten Präparaten wird diese Anforderung dahin verschärft, dass das Präparat beim Beschiessen desselben mit Kleingewehr aus einer angemessenen Distanz nicht explodiren soll.

Fall sein, wenn sich eingetretene Deteriorirungen durch die Veränderung der Farbe, der Consistenz, des specifischen Gewichtes oder andere auffallende Erscheinungen markiren.

6.) Bei den Schiesspräparaten speciell soll die Brisanz je nach Erforderniss zu regeln sein; auch sollen die Verbrennungsproducte keinen nachtheiligen chemischen Einfluss auf das Material der Geschützrohre ausüben.

In Bezug auf die *Untersuchung* von Schiess- und Sprengpräparaten hat man zweierlei zu unterscheiden: die *erste Untersuchung* nach der Erzeugung und Einlieferung des Präparates und die periodisch vorzunehmende *Revision* der deponirten Vorräthe. Die erste Untersuchung soll constatiren, ob das erzeugte Präparat den gestellten Anforderungen entspricht, d. h. dem als Muster aufgestellten Präparate gleichkommt. Sie muss sich demnach auf die chemische Zusammensetzung, auf die Dichte, auf die äussere Erscheinung (Farbe etc.), und insoferne das Präparat in Stücken (Körnern) von vorgeschriebener Form und Grösse erscheint, auch auf diese Factoren, auf den Feuchtigkeitsgehalt und schliesslich auf die Leistungsfähigkeit des Präparates erstrecken. Die Revision hat den Zweck, zu ermitteln, ob und welche Veränderung das bei der ersten Untersuchung als qualitätsmässig befundene Präparat seither erfahren hat, woraus sich ergibt, welcher Grad von Brauchbarkeit demselben nunmehr zukommt (Classification des Präparates). Die Revision ist im Wesentlichen eine Wiederholung der Untersuchung des Präparates auf seine Leistungsfähigkeit.

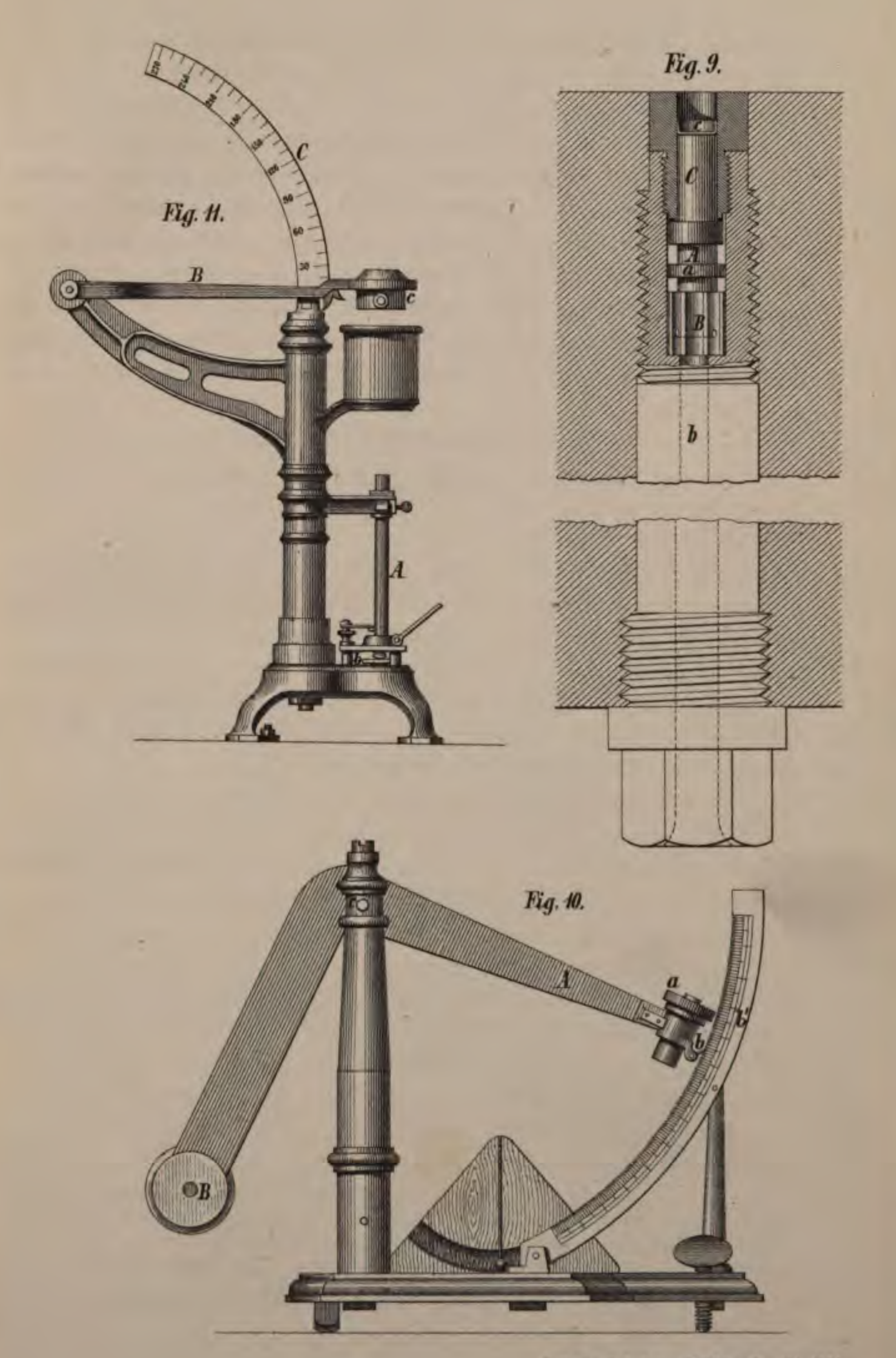
Die Untersuchung auf die Leistungsfähigkeit ist demnach die wichtigste und wird aus diesem Grunde vorzugsweise die Probe des Präparates genannt. Hiebei wird eine bestimmte Quantität des zu untersuchenden Präparates unter Umständen, welche jenen seiner wirklichen Verwendung nahe kommen, zur Explosion gebracht und aus der erreichten Wirkung auf die Qualitätsmässigkeit geschlossen. Bei den Sprengpräparaten wird eine bestimmte Quantität des zu untersuchenden Präparates im leichten Einschluss auf einen Holzbalken oder eine Eisenplatte von bestimmter Stärke frei aufgelegt, auf vorgeschriebene Art gezündet und soll durch das Durchbrechen der Unterlage seine Qualität bewähren; oder es wird die Einwirkung des explodirenden Präparates auf einen metallenen Cylinder von bestimmten Dimensionen (nach Art der Gasspannungsmessung mittelst des Crushers) oder auf eine hohl aufliegende kreisrunde Metallplatte von bestimmter Dicke etc. hervorgerufen und aus der durch die

Explosion hervorgebrachten Wirkung (Verkürzung des Cylinders, Durchbiegung der Platte etc.) die Leistungsfähigkeit des Präparates beurtheilt.

Bei den Schiesspräparaten besteht die rationellste Probe im wirklichen Schiessen aus einem Geschützrohre, wobei die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses und die Maximalgasspannung (die letztere mittelst eines in den Stossboden oder in das Verschlusstück des Rohres eingesetzten Gasspannungsmessers) gemessen wird. Selbstverständlich muss durch vorhergängige ähnliche Versuche mit dem Musterpräparat festgestellt worden sein, welchen Bedingungen nach beiden Richtungen das Präparat entsprechen muss, um als vollkommen qualitätsmässig (für Kriegszwecke verwendbar) erklärt, oder im Falle es diese Verwendbarkeit nicht besitzt, seinem Brauchbarkeitsgrade nach classificirt werden zu können. Anstatt dieser umständlichen Probe werden häufig (insbesondere bei Revisionen von Vorräthen an Schiesspulver) einfachere Proben vorgenommen; unter den mannigfachen Probirmethoden sind die nachfolgenden die gebräuchlichsten:

1.) Die *Schiessprobe* oder *Mörserprobe.* Aus einem Geschütz, einem Gewehr oder einem eigens zu diesem Zweck bestimmten Mörser werden mit festgesetztem Ladungs- und Geschossgewicht und festgesetzter Elevation mehrere Schüsse abgegeben, hiebei aber nur die vom Geschoss erreichte horizontale Schussweite als Masstab der Leistungsfähigkeit des Präparates angenommen.

2.) Die *Wagner'sche Hebelprobe.* Am äusseren Ende des horizontalen Armes *A (Fig. 10)* eines um *c* drehbaren zweiarmigen Hebels wird ein kleiner Mörser *a* eingesetzt, mit einer bestimmten Quantität Pulver gefüllt und dieses mittelst einer Stoppine gezündet. Durch den Rückstoss auf den Boden des Mörsers wird der Arm *A* nach abwärts gedreht und gleitet hiebei mit der Zunge *b* an dem gezahnten Bogen *b,* wobei das am unteren Ende des verticalen Hebelarmes angebrachte Gegengewicht *B* den Ausschlag mässigt; wenn der Arm *A* zur Ruhe kommt, so stemmt sich die Zunge *b* an den letztpassirten Zahn und verhindert die Rückdrehung des Armes, so dass der Ausschlag an der Nummerirung der Zähne abgelesen werden kann. Die Weite der Zahneinschnitte wird ein Grad genannt, und es ist für jede Pulvergattung vorgeschrieben, wie viel Grade an der Hebelprobe sie schlagen muss, um als kriegstauglich oder (bei eingetretener Deteriorirung) für andere Zwecke brauchbar classificirt zu werden. Diese Probe ist nur für kleinkörnige Pulversorten anwendbar.



Lith. im k. k. t. u. a. Militär-Comité, 1881.



3.) Die *Pulverprobe von Uchatius.* In einen vertical gestellten Gewehrlauf *A (Fig. 11)* wird nebst der bestimmten Ladung aus dem zu untersuchenden Pulver das normalmässige Geschoss geladen und unter die Ladung ein Gasspannungsmesser von Uchatius eingesetzt, welcher auf der Platte *b* aufsteht; beim Schusse dringt das Geschoss in den Receptor *c* ein und dreht den Hebel *B* nach aufwärts, wobei er an dem gezahnten Bogen *C* schleift. Aus dem Ausschlage des Hebels *B,* welcher hier die ballistische Wirkung anzeigt,* und der Kerbe des Gasspannungsmessers (brisante Wirkung) wird die Qualitätsmässigkeit des untersuchten Pulvers beurtheilt. Auch diese Probe eignet sich nur für kleinkörnige Pulversorten.

II. Das Schiesspulver.

a) Wesentlichste Eigenschaften.

Das Schiesspulver gehört zu den mechanischen Gemengen; seine Bestandtheile sind: Salpeter (Kaliumnitrat), Kohle (in der Regel Holzkohle) und Schwefel. Als Basis für die Zusammensetzung des Präparates und der durch die Explosion entstehenden Zersetzungsproducte dient die chemische Formel:

$$2KNO_3 + 3C + S = 3CO_2 + 2N + K_2S.$$

Nach dieser Formel ergibt sich die Dosirung theoretisch mit

74·82	Gewichtstheilen	Salpeter,
13·33	»	Kohle,
11·85	»	Schwefel

oder in runden Zahlen:

auf 75	Gewichtstheile	Salpeter
13	»	Kohle und
12	»	Schwefel.

In der Wirklichkeit gibt man gegenwärtig dem Schiesspulver eine etwas andere Dosirung; beim österreichischen Kriegspulver

auf 74	Gewichtstheile	Salpeter
16	»	Kohle und
10	»	Schwefel. **

* Eine dem Apparate beigegebene Tabelle gibt die jedem Hebelausschlage entsprechende Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses.

** In den übrigen Staaten ist die Dosirung des Kriegspulvers nicht viel hievon abweichend; in England und Russland beispielsweise kommen auf 75 Gthl. Salpeter 15 Gthl. Kohle und 10 Gthl. Schwefel; die Dosirung des deutschen Kriegspulvers ist genau gleich jener des österreichischen.

Der Grund zu dieser Abweichung liegt hauptsächlich darin, dass die zur Fabrication verwendete Holzkohle nicht reiner Kohlenstoff ist, sondern auf ca. 80 % Kohlenstoff 20 % andere Beimengungen enthält, dass daher, um eine genügende Menge des bei der Explosion durch seine Verbrennung zu Kohlendioxyd den Hauptbestandtheil des Gases bildenden Kohlenstoffes zu erhalten, eine grössere Gewichtsmenge an Kohle in das Präparat gebracht werden muss.

Bezüglich der Verbrennungsproducte folgt aus der obigen Formel theoretisch: 100 Gewichtstheile des Pulvers geben bei der Explosion

	48·89	Gewichtstheile	Kohlendioxyd	CO_2
	10·37	»	Stickstoff	N
zusammen	59·26	»	Gas und	
	40·74	»	Kaliumsulfid	K_2S

als Rückstand, somit ist das theoretische Verhältniss der Gasmenge zum Rückstand dem Gewichte nach 59:41 oder rund 3:2. Das Volumen des Gases bei 0° Temperatur und der Spannung von 1 Atm. würde 330 ◯d/m von 1 k/g des verbrennenden Pulvers betragen.

In der Wirklichkeit ist die Zusammensetzung der Verbrennungsproducte nicht so einfach, als es die Theorie voraussetzt, sondern es kommen unter den gasförmigen Producten ausser Kohlendioxyd und Stickstoff noch hauptsächlich Kohlenmonoxyd CO, Schwefelwasserstoff H_2S, Wasserstoff, Sauerstoff und Wasserdampf, — im Rückstand ausser Kaliumsulfid noch besonders Kaliumsulfat K_2SO_4, Kaliumcarbonat K_2CO_3, unzersetzter Salpeter, unverbrannte Kohle und unverbrannter Schwefel vor. Nachdem ein Theil des Sauerstoffes und des Kohlenstoffes, welche beiden Stoffe theoretisch nur im Gase vorkommen sollten, in den Bestandtheilen des Rückstandes gebunden ist, so ist das wirkliche Verhältniss der Gasmenge zum Rückstande nicht so günstig wie das theoretische. Das specifische Gewicht der Gase ist in der Wirklichkeit kleiner als der Theorie nach, da ein Theil des Kohlendioxyds durch andere, minder dichte Gasarten ersetzt ist; hiedurch wird die Verminderung der Gasmenge theilweise compensirt.

Als annähernd richtige Daten über die Factoren, welche die Leistungsfähigkeit des Pulvers von der oben angeführten Dosirung bedingen, können gelten: 1 k/g Pulver gibt 0·45 k/g Gase und 0·55 k/g Rückstand; die Gase haben bei 0° C. und der Spannung von 1 Atm. ein Volumen von 300 ◯d/m; der Rückstand ist während und kurz nach der Explosion im flüssigen Zustande und nimmt das Volumen

von 0·6 □d/m ein (später tritt ein Festwerden des Rückstandes ein; bei Abkühlung auf 0° C. sinkt sein Volumen auf 0·3 □d/m); die Explosion liefert eine Wärmemenge von 700 Calorien;* die Temperatur der Verbrennungsproducte beträgt (bei constantem Volumen) 2200° C. Mit diesen Zahlen ergibt sich die Absolutspannung, bezogen auf die Pulverdichte = 1, mit 6790 Atm.

Die verlässlichsten in neuerer Zeit ausgeführten Versuche über die Explosion des Schiesspulvers sind jene, welche von Abel und Noble mit englischem Pulver (vorgeschriebene Dosirung: 75 % Salpeter, 15 % Kohle, 10 % Schwefel, die Kohle mit 75 — 85 % Kohlenstoffgehalt) vorgenommen wurden. Hiebei wurden folgende, auf 1 k/g des verbrennenden Pulvers bezügliche Mittelresultate gefunden: Gewicht der Gase 0·435 k/g, Gewicht des Rückstandes 0·565 k/g; Volumen der Gase bei 0° C. und der Spannung von 1 Atm. 280 □d/m, Volumen des flüssigen Rückstandes 0·57 □d/m, Explosionswärme 705 Cal., Temperatur der Verbrennungsproducte (bei constantem Volumen) 2230° C., Absolutspannung, bezogen auf die Pulverdichte = 1, 6554 Atm. Der Exponent des Poisson'schen Gesetzes, welches zur Geltung kommt, wenn nach der Pulververbrennung eine Raumerweiterung vom ursprünglichen Volumen V des Explosionsraumes auf jenes v stattfindet, ist $k = 1{\cdot}074$ zu setzen.

Auf Grund dieser Zahlen würde sich die Berechnung der Gasspannung des Pulvers unter verschiedenen Verhältnissen folgendermassen ergeben:

Bezeichnet G das Gewicht in k/g einer Pulverladung und ist, wenn die Pulverdichte auf 1 reducirt gedacht wird, die Ladungsdichtigkeit = 1 (1 k/g Pulver auf 1 □d/m des Explosionsraumes), so ist das Volumen des Explosionsraumes in □d/m $V_0 = G$; der Rückstand nimmt das Volumen von 0·57 □d/m pro k/g der Ladung, daher den Raum von $V_2 = 0{\cdot}57\,G$ □d/m ein, für die Gase bleibt der Expansionsraum von $0{\cdot}43\,G$ übrig, in diesem Raume hat das Gas die Absolutspannung $P_0 = 6554$ Atm. Beträgt die Ladungsdichtigkeit $= D$ (D k/g auf 1 □d/m des Explosionsraumes), so ist das Volumen des Explosionsraumes $V = \frac{G}{D}$, und nachdem das Volumen des Rückstandes unverändert $0{\cdot}57G$ bleibt, der Expansionsraum der Gase $V - V_2 = \frac{G}{D} - 0{\cdot}57\,G = \frac{G}{D}(1 - 0{\cdot}57D) = V - 0{\cdot}57DV$; bei der Explosion im geschlossenen Gefässe muss in diesem Falle die relative Spannung

$$P = P_0\,\frac{0{\cdot}43\,G}{\frac{G}{D}(1 - 0{\cdot}57D)} = 6554\,\frac{0{\cdot}43\,D}{1 - 0{\cdot}57D}$$

sein. Geschieht nach der Explosion (nach gänzlicher Verbrennung des Pulvers im Ladungsraume) eine Erweiterung des Raumes auf v, so ist die Gasspannung im erweiterten Raume

$$p = P\left(\frac{V - V_2}{v - V_2}\right)^{1{\cdot}074} = P\left(\frac{V - 0{\cdot}57\,DV}{v - 0{\cdot}57\,DV}\right)^{1{\cdot}074}$$

---

* Die specifische Arbeit des explodirenden Schiesspulvers ist demnach 700 × 424 = 296800 k/g m/.

Setzt man das Verhältniss des erweiterten Raumes zum Ladungsraume $\frac{v}{V} = \Delta$, so folgt

$$p = 6554 \frac{0 \cdot 43 D}{1 - 0 \cdot 57 D} \left(\frac{1 - 0 \cdot 57 D}{\Delta - 0 \cdot 57 D} \right)^{1 \cdot 074} \text{Atm.}$$

Die aus früherer Zeit stammenden Angaben über die Absolutspannung des Pulvers weichen zum Theil sehr beträchtlich von denjenigen ab, welche durch neuere Untersuchungen festgestellt wurden.*

Diese Angaben lassen sich zum Theil daraus erklären, dass bei den bezüglichen Versuchen eine kleine Pulverquantität verbrannt und die Wärme des Entzündungsmittels nicht in Berücksichtigung gezogen wurde. Ein bemerkenswerthes Beispiel dieser Art bilden die Versuche von Rumford, deren Resultate eine geraume Zeit hindurch in der Artillerie Geltung hatten, gegenwärtig jedoch nur mehr ein historisches Interesse beanspruchen können, aus welchem Grunde hier eine kurze Beschreibung derselben folgt. Rumford verbrannte in einem kleinen Mörser Pulverladungen, welche von 1 bis 18 Gran (0·07 bis 1·25 *g*) gesteigert wurden, während der Mörser 25·64 Gran (circa 1·8 *g*) des Pulvers vom specifischen Gewichte 1·077 fassen konnte; als Mass für den jeder Ladung entsprechenden Gasdruck wurde jenes auf die Mündung des Mörsers aufgelegte Gewicht betrachtet, welches bei der Explosion eben noch gehoben wurde. Der Versuch lieferte daher eine Reihe von relativen Spannungen, für welche die Formel $y = 1 \cdot 841\, x^{1 + 0 \cdot 0004 x}$ herausgerechnet wurde, in welcher x die Ladungsdichtigkeit in Tausendstel des Explosionsraumes, y die Gasspannung in Atmosphären bedeutet; für $x = 1000$ resultirt demnach die Absolutspannung von 29,178 Atmosphären. Diese grosse absolute Spannung bei der von 1 nicht viel verschiedenen Dichte ist nebst anderen Ursachen auch dem Umstande zuzuschreiben, dass die Entzündung durch eine ausgehöhlte glühende Kugel bewirkt wurde, welche den untern geschlossenen Theil des Mörserchens umschloss, dass daher das Pulver schon in bedeutendem Grade erwärmt wurde, bevor die Explosion eintrat.

Das Pulver gelangt in der Regel (insbesondere bei Ladungen in Feuerwaffen) in Körnern zur Verwendung: nur ausnahmsweise wird das Pulver ganz zerrieben (Mehlpulver) oder in einem einzigen Stück (Pulverkuchen) verwendet. Die Grösse der Pulverkörner unterliegt sehr bedeutenden Verschiedenheiten; als Minimum des Korngewichtes kann 0·005 *g*, als gegenwärtiges Maximum 250 *g* gelten. Die Form der Körner ist bei dem feinkörnigen Pulver meist unregelmässig, wie sie sich bei der Fabrication durch das Zerschlagen eines Pulverkuchens ergibt; die grösseren Pulverkörner sind grösstentheils von regelmässiger sphärischer, cylindrischer, cubischer oder prismatischer Form; das prismatische Korn ist grösstentheils der Länge nach mit Durchlochungen (Kanälen) versehen.

---

* Aeltere artilleristische Schriftsteller schätzten die absolute Spannkraft des Pulvers häufig auf 50,000, ja selbst 100,000 Atmosphären.

Die absolute Dichte des Pulvers ist ungefähr = 2; die Korndichte schwankt je nach dem Grade der Pressung zwischen 1·4 und 1·9. Noch grösseren Verschiedenheiten ist die gravimetrische Dichte (das Cubirgewicht) des gekörnten Pulvers unterworfen; als Minimum derselben kann 0·8, als Mittel ungefähr 1 angenommen werden.

Die Entzündungstemperatur des Schiesspulvers beträgt ungefähr 300° C. Dieser beträchtlichen Entzündungstemperatur entsprechend kann das Schiesspulver nur durch Berührung mit einem glühenden Körper und durch, eine genügende Wärme entwickelnde Initialexplosionen sicher gezündet werden, während Stösse, Schläge und Reibung, wenn sie nicht sehr heftig sind, sowie schwächere elektrische Funken, gewöhnliche Flammen etc. in der Regel hiezu nicht hinreichen. Die Entzündlichkeit des Schiesspulvers ist im hohen Grade von der Natur der Kohle abhängig: stärker gebrannte (schwarze) Kohle macht das Pulver schwerer entzündlich, als weniger gebrannte (braune oder rothe) Kohle. Ferner ist gut geglättetes — polirtes — Pulver schwerer entzündlich, als ungeglättetes, dessen Oberfläche rauh ist; ebenso rundes und regelmässiges Korn schwerer als unregelmässiges, eckiges; ein grösserer Feuchtigkeitsgehalt beeinträchtigt sehr bedeutend die Entzündlichkeit des Pulvers.

Die Entzündungsgeschwindigkeit des Pulvers variirt bedeutend, je nach der Entzündlichkeit desselben und nach den Umständen, unter welchen die Entzündung geschieht, und beträgt im Maximum ungefähr 120 m/ in der Secunde; dieses Maximum findet statt, wenn das Pulver im festen Einschluss entzündet wird, wobei es jedoch den Raum nicht vollständig ausfüllen darf, damit die entwickelten Gase über die noch unentzündete Oberfläche frei streichen können.* Die Verbrennungsgeschwindigkeit des Pulverkorns bei gewöhnlicher Entzündungsart (Berührung mit einem glühenden Körper, schwächere Initialexplosionen) wird im Maximum auf 3 d/m in der Secunde geschätzt. Aus Versuchen wurde gefunden, dass für Pulver von bestimmter Dosirung und bei bestimmten Verbrennungsumständen (Ladungsdichtigkeit etc.) das Product der Verbrennungsgeschwindigkeit in die Korndichte eine constante Grösse ist.

Nachdem die Zeit, welche eine bestimmte Pulverladung zu ihrer vollständigen Verbrennung benöthigt, hauptsächlich von der Ver-

* Die kleinste Entzündungsgeschwindigkeit hat selbstverständlich frei liegendes Pulver; sie beträgt nur ungefähr 5 m/ in der Secunde.

brennungsgeschwindigkeit und von der Grösse der Körner abhängt, nachdem ferner für die erstere die Korndichte wesentlich massgebend ist, so bieten nebst der Form der Körner vorzüglich die beiden Factoren: Korndichte und Korngrösse — das Mittel an die Hand, bei Festhaltung einer bestimmten Entzündungsart die Verbrennungszeit und die durch dieselbe bedingte Brisanz des Pulvers nach Erforderniss zu regeln. Handelt es sich um Herabminderung der Brisanz, so wird man dichteres und grobkörniges Pulver anwenden, soll hingegen die Brisanz gesteigert werden, so empfiehlt sich die Anwendung von weniger dichtem und feinkörnigem Pulver.

Ein weiteres Mittel, die Brisanz (Sprengwirkung) des Pulvers zu vergrössern, besteht in der Verwendung von stärkeren Entzündungsmitteln, welche eine raschere Zersetzung (Detonation) des Pulvers herbeizuführen geeignet sind. Nach Versuchen von Roux und Sarrau wird eine sehr rasche Zersetzung (Detonation) des Pulvers erzielt, wenn die Entzündung durch ein Knallquecksilberkapsel geschieht und ein Hilfsdetonateur in Gestalt einer entsprechenden Quantität Nitroglycerin,* welches durch das Kapsel detonirt wird und die Detonation auf das Pulver überträgt, zur Anwendung kommt; in diesem Falle soll die Sprengkraft des Pulvers viermal so gross sein. als bei der Entzündung auf gewöhnliche Art. Jedoch ist zu bemerken, dass die bezüglichen Versuche mit zu kleinen Pulvermengen vorgenommen wurden, so dass die daraus gezogenen Schlüsse vorläufig nicht als unter allen Umständen (für grössere Ladungen) giltig angesehen werden können. Hingegen ist die Thatsache festgestellt, dass das Pulver wegen seiner schweren Entzündlichkeit durch ein Knallquecksilberkapsel allein nicht detonirt werden kann, wie dies bei entzündlicheren Präparaten (Nitroverbindungen) der Fall ist.

Infolge seiner Zusammensetzung und der verhältnissmässig hohen Entzündungstemperatur ist das Pulver weder der Selbstentzündung unterworfen, noch erfordert seine Erzeugung, Elaborirung, Transportirung, Aufbewahrung etc. besondere Vorsichtsmassregeln, um als ungefährlich zu gelten.

Bei langsamer, vorsichtiger Erwärmung lassen sich sogar die Bestandtheile des Pulvers gänzlich von einander trennen, ohne dass eine Explosion eintritt, indem sich zuerst der Schwefel verflüchtigt, sodann der Salpeter geschmolzen und von der darauf schwimmenden Kohle zersetzt wird. Die wesentlichste Vorsichtsmassregel bei Manipulationen mit dem Schiesspulver ist die Vermeidung allzu heftiger Schläge, Stösse und Reibungen; erfahrungsgemäss sind Schläge von Eisen gegen Eisen sowie von Messing gegen Eisen, Messing oder Kupfer für die Entzündung am gefährlichsten, weniger Schläge von Kupfer auf Kupfer, Bronze, Holz etc., daher sind bei der Manipulation insbesondere eiserne Werkzeuge auszuschliessen und kupferne anzuwenden.

---

* Eventuell eines anderen, Nitroglycerin enthaltenden Präparates: Dynamit, in Nitroglycerin getränkte Schiesswolle etc.

Obwol das Pulver, besonders bei guter Glättung, nicht stark hygroskopisch ist, so büsst es doch, offen den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, in kurzer Zeit bedeutend an seiner Leistungsfähigkeit ein, ja wird gänzlich unbrauchbar. Die unterscheidenden Kennzeichen des guten und des deteriorirten Pulvers sind insbesondere beim Kornpulver sehr in die Augen springend: das gute Pulver hat eine schwarze, schieferglänzende Farbe, es staubt nicht und färbt nicht ab, lässt sich zwischen den Fingern nicht leicht zerreiben; die Farbe des verdorbenen Pulvers ist dunkler, matt und zeigt bei hochgradiger Deteriorirung weisse Flecken, welche vom efflorescirenden Salpeter herrühren; es staubt, färbt ab, lässt sich zwischen den Fingern leicht zerreiben, backt zusammen und bildet Knollen, — ausserdem lässt sich die Deteriorirung des Pulvers an der Abnahme der Dichte und der Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes erkennen.

Der Feuchtigkeitsgehalt des guten Pulvers beträgt in der Regel 0·5 bis 1·5 %, darf aber 2 % nicht übersteigen. Bei Steigerung des Wassergehaltes bis ungefähr 5 % beginnt die Ausscheidung des Salpeters und die dunklere Färbung des Pulvers, bei 8 bis 10 % Feuchtigkeitsgehalt die Knollenbildung, bei 12 bis 15 % Feuchtigkeitsgehalt wird das Pulver gänzlich unbrauchbar.

b) Erzeugung, Untersuchung und Verwendung des Schiesspulvers.

Der Vorgang bei der Erzeugung des Schiesspulvers ist im Wesentlichen folgender: Nachdem die Materialien (Salpeter, Schwefel, Kohle) für die Verarbeitung vorbereitet (beschafft, gereinigt, zerkleint) wurden, werden sie im vorgeschriebenen Dosirungsverhältnisse gemengt; der hiedurch gewonnene Pulversatz wird zur Erreichung der beabsichtigten Korndichte in Kuchenform gepresst, sodann das Pulver gekörnt und getrocknet.

Zur Herstellung des unregelmässigen Kornes wird der Pulverkuchen in Stücke, entsprechend der Korngrösse, zerschnitten oder zerdrückt; dieses Pulver wird vor dem vollständigen Trocknen noch geglättet und nach dem Trocknen gewöhnlich noch polirt. Die regelmässigen grossen Pulverkörner werden entweder aus schon ausgefertigtem, zumeist ungeglättetem, feinkörnigem Pulver oder aus den durch Zerschlagen der Pulverkuchen gewonnenen kleinen Stücken durch Pressen in vorgeschriebene Formen hergestellt und dann nicht mehr geglättet oder polirt.

Der Salpeter wird in Salpeterplantagen als Rohsalpeter oder aus Chilisalpeter (Natronsalpeter) gewonnen und raffinirt; der Schwefel wird aus dem Handel

bezogen und behufs Reinigung umgeschmolzen. Die Kohle wird durch Verkohlung von Erlen-, Faulbaum-, Lindenholz etc. in Kohlengruben oder Destilliröfen gewonnen; je nach dem Grade der Verkohlung unterscheidet man die Kohle in braune und schwarze, die erstere enthält 70 bis 75% Kohlenstoff und ist leichter entzündlich als die letztere, welche bis zu 85% Kohlenstoff enthält. (Zu viel gebrannte, sogenannte todte Kohle enthält zwar einen grösseren Kohlenstoffgehalt, ist aber wegen ihrer schweren Entzündlichkeit für die Pulverfabrication unbrauchbar.)

Das Zerkleinen sowie das Mengen der Materialien geschieht grösstentheils in Tonnen, welche in Rotation versetzt werden, durch eingebrachte Broncekugeln; der Pulversatz wird durch hydraulische oder Walzenpressen verdichtet. In älteren Pulverwerken wird häufig das Zerkleinen, Mengen und Pressen gleichzeitig in Kollermühlen (durch in einer Kreisrinne umlaufende Mahlblöcke) oder in Pulverstampfen (durch vertical fallende Schiesser) bewirkt.

Bei Erzeugung des gröberen unregelmässigen Kornes wird der Pulverkuchen durch broncene Messer in regelmässige, meist cubische Stücke von der Grösse des Kornes zerschnitten, welche dann beim Glätten durch Abstossen der Ecken und Kanten eine unregelmässige Form bekommen. Das Zerdrücken des Pulverkuchens behufs Gewinnung des feineren Kornes geschieht gewöhnlich zwischen mit Stacheln besteckten Walzen. Die Herstellung des groben regelmässigen Kornes geschieht in der Regel durch hydraulische Pressen mit zweiseitigem Druck, d. h. es bewegt sich sowol der Stempel gegen die Matrize (Form) als auch diese gegen jenen, wodurch das Korn eine gleichmässigere Dichte erhält; die Kanäle beim prismatischen Pulver werden durch in die Matrize eingesetzte Dorne, welche bei der Pressung in entsprechende Bohrungen des Stempels eintreten, erzeugt.

Das Glätten des unregelmässigen Kornes erfolgt in rotirenden Glättetonnen oder in Rollfässern, wobei sich die Körner durch Reibung aneinander und am Tonnenumfange abschleifen; durch die sich entwickelnde Wärme wird ein Theil des im Pulver enthaltenen Wassers verdampft, der Dampf erweicht die Oberfläche der Körner und diese verdichtet sich beim Erkalten zu einer glatten Kruste. Zum Trocknen des Pulvers wird in der Regel durch dasselbe ein Strom erhitzter Luft durchgetrieben, bis der Feuchtigkeitsgehalt nicht mehr als 0·2 bis 0·3% beträgt.

Das Poliren geschieht durch Schütteln in Säcken oder Sieben, wobei häufig eigene Polirmittel (grösstentheils Graphit) zur Anwendung kommen.

Das Pulver mit unregelmässigem Korn wird nach der Ausfertigung sortirt, um das brauchbare Korn von dem zu grossen und zu kleinen, und falls mehrere nach der Korngrösse sich unterscheidende Pulversorten (Gewehr-, ordinäres Geschützpulver) zugleich erzeugt werden, diese von einander zu sondern; dies geschieht durch Siebe von verschiedener Maschenweite, welche derart übereinander angeordnet sind, dass das zu grosse Korn auf dem obersten, die brauchbaren Körner successive nach ihrer Grösse auf den unteren Sieben liegen bleiben, während das zu kleine Korn durch das unterste Sieb durchfällt.

Die Untersuchung des neu eingelieferten Pulvers erstreckt sich auf die Controlirung der Korngrösse, der Korndichte, des Feuch-

tigkeitsgehaltes, der Glättung und Politur und der Leistungsfähigkeit in brisanter und ballistischer Beziehung.*

Die Korngrösse kann bei dem groben regelmässigen Korn durch directe Messung, eventuell durch Chablonen controlirt werden; beim unregelmässigen Korn geschieht dies durch Sortirsiebe. Die Korndichte wird gewöhnlich nur beim groben regelmässigen Korn eigens bestimmt; beim unregelmässigen, besonders feineren Korn begnügt man sich mit der Controlirung der gravimetrischen Dichte, welche sich aus dem Gewichte eines bestimmten Volumens Pulver ergibt und bei richtiger Korngrösse einen Rückschluss auf die richtige Korndichte gestattet. Der Feuchtigkeitsgehalt ergibt sich aus der Gewichtsdifferenz vor und nach dem vollständigen Trocknen, welch' letzteres in der Regel mittelst Wasserdampf geschieht. Uebrigens dürfen auch die Erscheinungen, welche auf grösseren Feuchtigkeitsgehalt hindeuten, als: dunklere Färbung, weisse Flecken, geringere Härte etc., obwol dieselben beim neu eingelieferten Pulver kaum vorkommen dürften, nicht aus den Augen gelassen werden.

Die Glättung und Politur wird durch Vergleich des eingelieferten mit dem Normalpulver geprüft.

Die Prüfung auf die Leistungsfähigkeit geschieht beim grobkörnigen Pulver in der Regel durch Schiessen aus einem Geschütz, wobei Maximalgasspannung und Anfangsgeschwindigkeit (eventuell auch die Schussweite) beobachtet wird. Für feinkörnige Pulversorten (ordinäres Geschütz- und Gewehrpulver) ist in Oesterreich die Pulverprobe von Uchatius und die Wagner'sche Hebelprobe vorgeschrieben. Das im ärarischen Pulverwerk in Stein bei Laibach erzeugte Geschützpulver soll auf der Probe von Uchatius 220—240 $^m/$ Anfangsgeschwindigkeit und nicht über 400 Atm. Gasspannung, das Gewehrpulver aber 240—270 $^m/$ Anfangsgeschwindigkeit und nicht über 460 Atm. Gasspannung ergeben; auf der Wagner'schen Hebelprobe soll ersteres mindestens 90, letzteres mindestens 115 Grade schlagen. Mindergradiges, sonst brauchbares Pulver wird, wenn es auf der Wagner'schen Hebelprobe, und zwar das Geschützpulver zwischen 70 und 90, das Gewehrpulver zwischen 95 und 115 Grade schlägt, als zu Friedensübungen brauchbar classificirt und mit *Litt. B* (Gewehrpulver *Litt. b*) bezeichnet, während das zu Kriegszwecken brauchbare, vollkommen gradhältige Pulver die Bezeichnung *L. A.* (Gewehrpulver *Litt. a*) erhält. Das auch zu Friedensübungen nicht brauchbare Pulver wird als Sprengpulver classificirt.

Die Pulvervorräthe müssen periodisch einer Untersuchung unterzogen und nach Befund classificirt werden.

Diese Untersuchung soll sich hauptsächlich auf die während der Depositirung eingetretene Veränderung des Pulvers im Aussehen, Härte,

* Eine Untersuchung auf die richtige Dosirung wird in der Regel, besonders wenn das Pulver in Regierungs- oder renommirten Privat-Etablissements erzeugt wurde, nicht vorgenommen. Soll sie dennoch geschehen, so wird zuerst der Salpeter durch Auslaugen des Pulvers mit warmem Wasser ausgezogen, sodann der Rest mit einem Mittel behandelt, welches den Schwefel löst, die Kohle aber nicht (am besten Schwefel-Kohlenstoff in Weingeist aufgelöst).

Feuchtigkeitsgehalt, Dichte etc. und besonders Gradhältigkeit erstrecken. Pulver, welches sich nicht bis zum Grade völliger Unbrauchbarkeit verändert zeigt, wird vor der Leistungsprobe gelüftet, getrocknet, ausgestaubt.

In der österreichischen Marine besteht die Vorschrift, dass das depositirte Pulver jedes vierte Jahr, die von den ausgerüstet gewesenen Schiffen abgeführte Pulvermunition aber jedesmal vor ihrer Depositirung untersucht und classificirt werden muss.

Die von den Schiffen bei der Abrüstung abgeführten Kardusen werden, wenn sie bei der Untersuchung keine Spur von Feuchtigkeit zeigen, nicht entleert, sondern sofort wieder verpackt; die feuchten Kardusen werden entleert und das Pulver gleich dem ledig (in Fässern oder Kisten) depositirt gewesenen behandelt.

Durch Feuchtigkeit aufgeweichtes oder knollig gewordenes sowie verunreinigtes Pulver wird für den Verschleiss als Sprengpulver hergerichtet, eventuell zur Gewinnung des Salpeters ausgelaugt; kleinere Quantitäten stark verunreinigten, gänzlich unbrauchbaren Pulvers werden vernichtet (ins Meer geschüttet). Minder feuchtes Pulver wird gelüftet, getrocknet, ausgestaubt, untersucht und nach den hiefür bestehenden Vorschriften classificirt.

Das feucht gewesene und getrocknete grobkörnige Pulver wird als nicht mehr zu Kriegszwecken brauchbar betrachtet, sondern zu Friedensübungen classificirt.

Das kleinkörnige Pulver wird mittelst der Wagner'schen Hebelprobe untersucht und nach der Gradhältigkeit classificirt.

Die wesentlichste Verwendung findet das Schiesspulver, wie schon sein Name andeutet, als Schiesspräparat, wozu es vermöge seiner verhältnissmässig geringen und regulirbaren Brisanz vorzüglich geeignet ist.

Eine weitere, wenn auch verhältnissmässig geringe Verwendung findet das Pulver als Sprengpräparat zur Füllung von Hohlgeschossen, von Seeminen und von Minen am Lande, ferner bei Entzündungsmitteln (Initialexplosionen der schwächsten Gattung), zu Anfeuerungen, zur Fortleitung des Feuers, zu Treibsätzen etc.

Zur Füllung der Hohlgeschosse und Seeminen werden die brisantesten, daher in erster Linie kleinkörnigen Pulversorten angewendet. Anfeuerungen kommen bei festgeschlagenen Sätzen (Brandgeschosse, Blickfeuer etc.) vor und sollen die Entzündung derselben vermitteln; hiezu wird in der Regel Mehlpulver verwendet. Als Feuerleitung werden in Salpeterlauge gebeizte und mit Mehlpulver überzogene Baumwollfäden (Stoppinen) angewendet. In den Entzündungsmitteln bildet das Schiesspulver die Verstärkung des eigentlichen Zündsatzes, von welchem es entzündet wird, um das Feuer der zu entzündenden Ladung mitzutheilen; solche kleine Ladungen der Entzündungsmittel (Brandel, Zünder etc.) werden Schlagladungen genannt.

Dem Schiesspulver ähnliche Präparate.

Hieher sind solche Präparate zu rechnen, bei welchen die Bestandtheile des Schiesspulvers selbst in principiell anderer Dosirung vorkommen, oder solche, in welchen einzelne Bestandtheile des Pulvers gänzlich oder theilweise durch andere verwandte Stoffe ersetzt sind.

Das erstere kommt beim Sprengpulver vor, welches einen geringeren Salpeter- und einen höheren Kohlengehalt hat, als das gewöhnliche Schiesspulver (Kriegspulver).

Infolge der grösseren Menge des Kohlenstoffes und der geringeren Menge des Sauerstoffes (im Salpeter) verbrennt beim Sprengpulver der Kohlenstoff nur unvollständig, nämlich nicht zu Kohlendioxyd, sondern zu Kohlenmonoxyd; das Sprengpulver ist daher principiell Kohlenmonoxydpulver, das Kriegspulver hingegen Kohlendioxydpulver. Die theoretische Formel des Sprengpulvers ist:

$$2KNO_3 + 6C + S = K_2S + 6CO + 2N.$$

Dies würde auf die Dosirung

66·0 Gewichtstheile Salpeter,
23·5 » Kohle und
10·5 » Schwefel

führen. Die Verbrennungsproducte wären

35·95 Gewichtstheile Kaliumsulfid,
54·90 » Kohlenoxyd,
9·15 » Stickstoff,

somit ungefähr 36 Gewichtstheile Rückstand und 64 Gewichtstheile Gas. Da schon dem Gewichte nach eine grössere Gasmenge vorhanden, da ferner das Kohlenoxydgas eine kleinere Dichte hat als das Kohlendioxydgas, so liefert das Sprengpulver ein grösseres Volumen Gas als das Kriegspulver, nämlich von 1 kg Pulver circa 500 $\bigcirc^{d}/_{m}$. Nachdem jedoch die durch Verbrennung der Kohle zu Kohlenoxyd gelieferte Wärme bedeutend geringer ist, als bei Verbrennung zu Kohlendioxyd, nämlich von 1 kg 2400 Calorien (gegen 8080 bei CO_2), so ist die Explosionswärme, daher auch die Verbrennungstemperatur und die Gasspannung. beim Sprengpulver eine kleinere als beim Kriegspulver. Ueberdies ist die Verbrennungsdauer des Sprengpulvers grösser, daher die Brisanz geringer, als jene des Kriegspulvers.

Das Sprengpulver ist demnach vermöge seiner geringen Brisanz kein eigentliches Sprengpräparat, obwol es ausschliesslich als solches angewendet wird; dies geschieht jedoch nur zu Sprengungen in Erde und weichem Gestein. wo eine mehr nachhaltige, erschütternde und zerkleinende Wirkung erwünscht ist. Ausserdem ist das Sprengpulver infolge des geringeren Salpetergehaltes und der minder sorgfältigen Erzeugung billiger als Kriegspulver, was es für minder wichtige Zwecke der Technik verwendbarer erscheinen lässt. Neuerer Zeit treten auch in dieser Beziehung die eigentlichen brisanten Sprengpräparate immer mehr an die Stelle des Sprengpulvers.

Die Mitte zwischen diesem Sprengpulver und dem eigentlichen Schiesspulver hält das aus 62 Gthl. Salpeter, 20 Gthl. Kohle und 18 Gthl. Schwefel bestehende Sprengpulver, welches zum Theil CO, zum Theil CO_2 liefern soll. —

Zu der zweiten Klasse der dem Schiesspulver ähnlichen Präparate gehören hauptsächlich solche, bei welchen anstatt des Kaliumnitrates oder nebst demselben andere Stoffe als Träger des Sauerstoffes verwendet werden. Die wichtigsten sind folgende:

Natronpulver, in welchem anstatt des Kalisalpeters Natronsalpeter (Natriumnitrat) angewendet wird; dies geschieht wegen der grossen Hygroskopicität des Natronsalpeters nur dort, wo für das momentan zu beschaffende Pulver kein Kalisalpeter zur Verfügung steht.

Barytpulver, in welchem zur Herabminderung der Brisanz 40 bis 80 % des Kalisalpeters durch Baryumnitrat ersetzt sind.

Pulver mit Kaliumchlorat, von welchem mehrere Gattungen versucht wurden; die bekannteste ist das weisse Schiesspulver von Augendre, welches aus Kaliumchlorat ($KClO_3$), gelbem Blutlaugensalz ($K_4C_6N_6Fe$) und Zucker besteht und am wirksamsten sein soll, wenn 49 Gthl. $KClO_3$, 28 Gthl. $K_4C_6N_6Fe$ und 23 Gthl. Zucker gemengt werden.

Im Allgemeinen sind die Pulversorten mit Kaliumchlorat brisanter und entzündlicher als gewöhnliches Pulver, daher als Schiesspräparate nicht anwendbar.

III. Explosive Nitroverbindungen.

Um möglichst kräftige Präparate zu erhalten, werden die betreffenden organischen Stoffe in der Regel dreifach nitrirt, nach der chemischen Formel:

$$C_a H_b O_c + 3HNO_3 = C_a H_{b-3}(NO_2)^3 O_c + 3H_2O.$$

Bei der Fabrication der meisten Präparate wird der Salpetersäure, durch deren Einwirkung auf den organischen Stoff die Nitrirung vor sich geht, die zwei- bis dreifache Gewichtsmenge an concentrirter Schwefelsäure zugesetzt, welch' letztere die Aufgabe hat, durch Ansichziehen des Wassers während der Nitrirung die Salpetersäure concentrirt zu erhalten.

A. Schiesswolle.

Unter allen explosiven Präparaten, welche durch Nitrirung der Holzfaser oder Cellulose in mancherlei Formen, als: Holzstoff, Papier, Leinfaser, Baumwolle etc., entstehen und den Collectionsnamen Pyroxylin führen, hat die Schiesswolle die grösste Bedeutung und wichtigste praktische Anwendung gefunden. Schiesswolle ist dreifach nitrirte Baumwolle;* die Nitrirung geschieht nach dem Schema:

$$C_6 H_{10} O_5 + 3HNO_3 = C_6 H_7 (NO_2)^3 O_5 + 3H_2O.**$$

---

* Durch zweifache Nitrirung der Baumwolle entsteht die weniger explosible Kollodiumwolle.

** Wird die Schiesswolle als Salpetersäureäther betrachtet, so wäre das Schema: $3HO \cdot NO_2 + C_6H_7O_2 \cdot 3HO = C_6H_7O_2(O \cdot NO_2)_3 + 3H_2O$.

Bei der Fabrication wird zuerst die Baumwolle entfettet, ausgewaschen und getrocknet; sodann wird sie der Einwirkung einer abgekühlten Mischung von 1 Gthl. Salpetersäure und 3 Gthl. Schwefelsäure ausgesetzt, nach vollzogener Nitrirung behufs gänzlicher Entfernung der überschüssigen Säure mehrmals gewaschen und ausgepresst (häufig nach dem Waschen noch in Pottaschenlösung eingehängt und nochmals ausgewaschen oder auch in einem Centrifugalapparat ausgeschleudert).

Zur Verwendung gelangt die Schiesswolle entweder bloss locker aufgekämmt (Flockenform), oder fest gezwirnt und geflochten (Strickform), oder aber comprimirt. Die comprimirte Schiesswolle, welche neuerer Zeit die meiste Anwendung findet, wird dadurch hergestellt, dass die Baumwolle nach der Nitrirung und nach dem Entsäuern noch im nassen Zustande sehr fein zertheilt und dann in Formen durch hydraulische Pressen bis zur Härte und Consistenz des Holzes verdichtet wird. Die Dichte der Schiesswolle ist sehr verschieden; Schiesswolle in Flockenform hat die Dichte von nicht über 0·1, in Strickform im Mittel 0·25, comprimirte Schiesswolle erreicht die Dichte von 0·9 — 1·1.

Gewöhnlich ist die Zusammensetzung der Schiesswolle nicht genau diejenige, wie sie sich nach obigem Schema ergeben müsste; theoretisch sollten in 100 Gthl. Schiesswolle

24·24 Gthl. Kohlenstoff,
2·36 » Wasserstoff,
14·14 » Stickstoff und
59·26 » Sauerstoff

sein. Die Analyse zeigt in der Regel einen grösseren Procentsatz an Kohlenstoff und Wasserstoff, hingegen einen kleineren Procentsatz der durch Nitrirung in die Verbindung eintretenden Bestandtheile Stickstoff und Sauerstoff, was auf eine nicht vollständige Nitrirung hindeutet.

Bezüglich der Zersetzung nimmt die Theorie an, dass sich der Stickstoff für sich ausscheidet, der Wasserstoff mit der nöthigen Menge Sauerstoff zu Wasserdampf zusammentritt, der Kohlenstoff in dem Masse, als der Sauerstoff hiezu ausreicht, zu Kohlendioxyd, der übrige Theil zu Kohlenmonoxyd verbrennt. Dies gibt das folgende Zersetzungsschema:

$$2C_6H_7N_3O_{11} = 6N + 7H_2O + 3CO_2 + 9CO.$$

Nach demselben verbrennt die Schiesswolle gänzlich ohne Rückstand, und es liefert 1 kg derselben bei der Verbrennung

141·4 kg Stickstoff,
212·1 » Wasserdampf,
222·2 » Kohlendioxyd und
424·2 » Kohlenmonoxyd.

Das Volumen dieser Gase (einschliesslich des Wasserdampfes) bei 0° C. und der Spannung von 1 Atm. würde 827 $\bigcirc^{d}/_{m}$ betragen.

Die wirkliche Zusammensetzung der Verbrennungsproducte weicht nicht unwesentlich von der hier angeführten theoretischen ab, indem nicht der ganze Stickstoff sich ausscheidet, sondern zum grössten Theil mit Sauerstoff Stickoxyd N_2O_2 bildet und ein Theil des Kohlenstoffes mit Wasserstoff zu Sumpfgas CH_4 zusammentritt; infolge dessen wird auch das Verhältniss der übrigen Verbrennungsproducte verändert, es zeigt sich nämlich eine Verminderung des Wasserdampfes und des Kohlenmonoxyds, hingegen meist eine Vermehrung des Kohlendioxyds.

Die Untersuchungen über die Schiesswolle haben bezüglich der Kraftfactoren derselben ungefähr Folgendes ergeben: Die Schiesswolle verbrennt ohne jeden oder mit nur sehr unbedeutendem Rückstand; 1 kg derselben liefert bei der Explosion ein Gasvolum von 800 $\bigcirc^{d}/_{m}$ (bezogen auf 0° C. und die Spannung = 1); die Explosionswärme beträgt 1060 Calorien, die Temperatur der Verbrennungsproducte (bei constantem Volumen) 5000°. Mit diesen Daten ergibt sich, wenn die Dichte = 1 der Schiesswolle zu Grunde gelegt wird, eine Absolutspannung von 15,450 Atm. Diese Spannung kann als die der comprimirten Schiesswolle eigenthümliche angesehen werden; der Schiesswolle in Strick- und Flockenform kommt selbstverständlich, entsprechend der geringeren Dichte, eine kleinere Absolutspannung zu.

Die Entzündungstemperatur der Schiesswolle beträgt 120 bis 180° C. Infolge dieser niederen Entzündungstemperatur wird die Schiesswolle nicht nur durch Berührung mit einem glühenden Körper, durch elektrische Funken oder durch Flammen leicht gezündet, sondern sie ist auch gegen Stoss, Schlag, Erschütterung sehr empfindlich. Die Verbrennungsgeschwindigkeit der auf gewöhnliche Art gezündeten, dicht umschlossenen Schiesswolle beträgt 5 bis 6 m in der Secunde.

Die Schiesswolle, namentlich comprimirte, wird durch ein Knallquecksilberkapsel leicht zur Detonation gebracht, wobei selbst eine grössere Quantität der Schiesswolle in unmessbar kurzer Zeit verbrennt und eine ungefähr doppelt so grosse Brisanz (unmittelbare

Sprengwirkung) entwickelt, wie bei der Entzündung auf gewöhnliche Art. Jedoch ist Bedingung dieser grösseren Wirkung, dass die durch den Detonateur gezündete Schiesswolle vollkommen eingeschlossen sei; freiliegende Schiesswolle, durch einen Detonateur gezündet, wird zwar ebenfalls zur Explosion gebracht, jedoch ist die unmittelbare Sprengwirkung dieser Explosion bedeutend geringer, ungefähr so gross, wie jene der eingeschlossen explodirenden, auf gewöhnliche Art gezündeten Schiesswolle. Wird freiliegende Schiesswolle auf gewöhnliche Art oberflächlich entzündet, so tritt überhaupt keine Explosion, sondern ein ruhiges Verbrennen ein; dies ist bei der comprimirten Schiesswolle auch dann der Fall, wenn sie im leichten Einschluss verbrennt.

Wenn man die Schiesswolle bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit mit dem Pulver vergleicht, so ergibt sich ungefähr Folgendes: Die Schiesswolle entwickelt bei der Explosion eine Wärmemenge, welche sich zu jener des Pulvers wie $1^1/_2 : 1$ (1060 : 700) verhält, in diesem Verhältnisse stehen demnach die Arbeiten, welche gleiche Gewichtsmengen der beiden Präparate zu leisten vermögen; auf eine und dieselbe Dichte = 1 bezogen (comprimirte Schiesswolle und gekörntes Pulver, wie es gewöhnlich zur Anwendung kommt), ist die Absolutspannung der Schiesswolle $2^1/_2$mal so gross, als jene des Pulvers (15,450 gegen 6700); zieht man die Brisanz (unmittelbare Sprengwirkung) bei gewöhnlicher Entzündungsart in Betracht, so verschiebt sich das in den Absolutspannungen ausgedrückte Verhältniss zu Gunsten der Schiesswolle, weil die Verbrennungsgeschwindigkeit derselben eine grössere ist, und kann nahezu 3 : 1 gesetzt werden; bei Entzündung mittelst eines Knallquecksilber-Kapsels wird die Brisanz der Schiesswolle verdoppelt, jene des Pulvers aber nicht (oder nur unbedeutend) gesteigert, — das Verhältniss wächst daher auf 6 : 1; wird hingegen das Pulver (mittelst eines Hilfsdetonateurs) ebenfalls zur Detonation gebracht, so steigt seine Brisanz auf das Vierfache, das Verhältniss der Brisanzen sinkt daher auf 3 : 2.

Die Schiesswolle in Flocken und Strickform hat das Aussehen der gewöhnlichen Baumwolle, nur ist sie rauher, steifer und schwerer als diese, wird durch Reiben elektrisch und knirscht beim Zusammendrücken; sie ist nicht stark hygroskopisch und hat im trockenen Zustande $1^1/_2$ bis 2 % Wasser.

Nass oder feucht geworden, wird sie momentan weniger wirksam und schwerer entzündlich, kann aber durch Trocknen auf den ursprünglichen Grad der Entzündlichkeit und Leistungsfähigkeit gebracht werden. Dies ermöglicht es, die Schiesswolle zur Vermeidung der Gefahr während der Aufbewahrung und beim Transporte im Wasser zu halten; vor der Verwendung muss sie dann ausgewunden und getrocknet werden. Comprimirte Schiesswolle kann bis zu 25 % Wasser aufnehmen, ohne beträchtlich an Leistungsfähigkeit einzu-

büssen: jedoch erfordert sie, mit diesem Wassergehalt verwendet, besondere Entzündungsmittel, um sie zur Explosion zu bringen.

Die Schiesswolle ist im Wasser, Alkohol und Aether unlöslich.* Die gut nitrirte, reine und entsäuerte Schiesswolle ist chemisch stabil, so dass dieselbe jahrelang ohne Gefahr aufbewahrt werden kann; jedoch darf sie dabei der Einwirkung des Lichtes, der Feuchtigkeit und einer gesteigerten Temperatur nicht ausgesetzt sein, da diese Einflüsse geeignet sind, eine Zersetzung herbeizuführen, welche sich hauptsächlich durch Ausscheiden von Oxyden des Stickstoffes in Dampfform kundgibt und durch Erhöhung der Temperatur die Selbstentzündung verursachen kann. Unreine, nicht genügend nitrirte und entsäuerte Schiesswolle ist jedoch bei der sorgfältigsten Behandlung der Zersetzung und Selbstentzündung unterworfen.

Gute, unzersetzte Schiesswolle gibt sich hauptsächlich durch die reine, weisse Farbe zu erkennen; die Zersetzung der Schiesswolle erkennt man an der roth-gelblichen Farbe, welche von den ausgeschiedenen Oxyddämpfen herrührt, sowie an der gesteigerten Temperatur des Präparates. Um die durch die Zersetzung bedingte Gefahr der Selbstentzündung zu vermeiden, soll die Schiesswolle bei der Depositirung entweder unter Wasser gehalten oder, wenn trocken, in nicht dicht schliessenden Gefässen aufbewahrt werden, um den eventuell sich entwickelnden Dämpfen den freien Abzug zu gestatten.

Die hauptsächlichste Verwendung findet die Schiesswolle, wegen ihrer hohen Brisanz, als Sprengpräparat für Minen überhaupt, zu Kriegszwecken insbesondere als Ladung der Seeminen und Torpedos. Gegenwärtig gewinnt die Anwendung der comprimirten Schiesswolle immer weitere Verbreitung, u. zw. grösstentheils, um jede Gefahr der Handhabung auszuschliessen, mit einem Wassergehalt von 15 bis 20%; um diese nasse Schiesswolle zur Explosion zu bringen, wird nebst dem Detonateur eine kleine Ladung trockener Schiesswolle angewendet.

Um die Schiesswolle als Schiesspräparat anwenden zu können, wozu sie, wie ihr Name andeutet, ursprünglich bestimmt war, hat man mehrfache Versuche zur Herabminderung und Regelung ihrer Brisanz gemacht, als: Zusatz von gewöhnlicher Baumwolle, Verbindung der Schiesswolle mit Pulver etc.; doch haben diese Bemühungen bisher noch zu keinem Erfolg geführt. Neuestens sollen in Amerika die Versuche mit Schiesswollepulver, wobei die Schiesswolle den Kern des Pulverkornes bildet, wieder aufgenommen worden sein; durch die anfänglich langsamere, dann raschere Verbrennung dieser Körner wird im Geschützrohre

* Die Kollodiumwolle (Dinitro-Cellulose) ist im weingeisthaltigen Aether löslich, die Lösung wird Kollodium genannt.

die Vermehrung der Gasmenge mit der fortschreitenden Vergrösserung des Explosionsraumes gesteigert, daher ein gleichmässigerer Verlauf der Gasspannungen erreicht. (Siehe vierter Abschnitt.)

B. Nitroglycerin (Sprengöl).

Die Bildung des Nitroglycerins geht nach der chemischen Formel:

$$C_3H_8O_3 + 3HNO_3 = C_3H_5(NO_2)^3O_3 + 3H_2O\,*$$

vor sich, wenn reines Glycerin mit einem abgekühlten Gemenge von 1 Gthl. concentrirter Salpetersäure und 2 Gthl. concentrirter Schwefelsäure unter beständigem Umrühren langsam gemischt wird. Das nach reichlichem Zusatz von Wasser zur Mischung sich am Boden absetzende Nitroglycerin wird durch Behandlung mit Pottaschenlösung und mehrmaliges Auswaschen entsäuert.

Das specifische Gewicht des Nitroglycerins beträgt 1·6.

Das theoretische Zersetzungsschema des Nitroglycerins ist:

$$2C_3H_5N_3O_9 = 6N + 5H_2O + 6CO_2 + O.$$

Darnach würde 1 kg desselben bei der Explosion 710 Cub.-dm Gase (einschliesslich des Wasserdampfes) liefern. Die Untersuchungen über das Nitroglycerin bestätigen diese Angabe bezüglich des Gasvolumens und ergeben eine Explosionswärme von ungefähr 1750 Calorien; die Temperatur der Verbrennungsproducte (bei constantem Volumen) kann mit 8750° C.** angenommen werden.

Mit dieser Temperatur und der Dichte von 1·6 gerechnet, ergibt sich die absolute Spannung mit ungefähr 37,000 Atm.

Das Nitroglycerin explodirt bei einer Temperatur von 180°; es entzündet sich sowol durch directe Zuführung von Wärme (gewöhnliche Zündung), als auch durch Initialexplosionen, durch starken Schlag, Stoss und momentanen starken Druck, während ein allmählich vermehrter, selbst sehr starker Druck keine Entzündung bewirkt.

Es verhält sich den Entzündungsmitteln gegenüber ungefähr wie die comprimirte Schiesswolle: auf gewöhnliche Art gezündet, brennt es freiliegend ruhig ab, explodirt aber im festen Einschluss; die Explosion (Detonation) vollzieht sich in unmessbar kurzer Zeit, wenn ein Detonateur in Anwendung kommt; bei Einwirkung eines starken Schlages oder einer Initialexplosion auf unverschlossenes

* Als Salpetersäureäther entsteht das Nitroglycerin nach folgendem Schema:
$3HO\cdot NO_2 + C_3H_5\cdot 3(HO) = C_3H_5(O\cdot NO_2)_3 + 3H_2O.$

** Die specifische Wärme mit 0·2 angenommen.

Nitroglycerin explodirt gewöhnlich nur ein Theil desselben in unmittelbarer Nähe der getroffenen Stelle.

Nachdem die Explosionswärme und die absolute Spannkraft des Nitroglycerins grösser ist, als jene der Schiesswolle, so muss es in Bezug auf Brisanz und Leistungsfähigkeit über die Schiesswolle gestellt werden.

Das Nitroglycerin ist eine geruchlose, scharf aromatisch schmeckende, farblose oder lichtgelblich gefärbte, ölige Flüssigkeit von der Dichte 1·6, es ist im Wasser nicht, im Aether, Weingeist und Holzgeist* leicht löslich, verflüchtigt sich zum Theil selbst bei niedriger Temperatur, wirkt, inwendig genommen, giftig und verursacht selbst bei der Manipulation den dabei Beschäftigten Kopfschmerzen und Ueblichkeiten. Es besitzt bei gewöhnlicher Temperatur genügende chemische Stabilität, bei höherer Temperatur tritt leicht Selbstzersetzung ein, und da das Nitroglycerin auch gegen Schlag, Stoss, momentanen starken Druck sehr empfindlich ist, so ist die Verarbeitung, Depositirung und Transportirung mit Gefahr verbunden; es gefriert bei 6 bis 8° C., ist dann schwerer entzündlich, explodirt aber häufig beim Brechen, Schneiden, Ritzen etc., sowie bei raschem Aufthauen, daher hiebei die grösste Vorsicht beobachtet werden muss.

Die Behandlung des Nitroglycerins als Flüssigkeit in der praktischen Verwendung ist umständlich und gefährlich; aus diesem Grunde und um ihm seine nachtheiligen Eigenschaften, insbesondere die zu leichte Entzündlichkeit, zu benehmen, wird es gegenwärtig ausschliesslich an andere Stoffe gebunden zur Anwendung gebracht.

Diese Stoffe, welche entweder wie Kieselguhr, Bergkreide, Holz, Holzmoder etc. nicht explosiv, oder wie die Schiesswolle selbst starke Explosivstoffe sind, saugen vermöge ihrer Porosität das Nitroglycerin auf und halten es mit Zähigkeit fest: hiedurch entstehen eigene, in ihren Eigenschaften und ihrer Leistungsfähigkeit dem Nitroglycerin mehr oder weniger nahe kommende Präparate, welche den allgemeinen Namen Dynamit führen. Nach der Natur der Aufsaugestoffe, welche die Basis der Dynamite bildet, unterscheidet man diese in Dynamite

---

* Die Auflösung des Nitroglycerins in Holzgeist, das methylisirte Sprengöl, ist leicht entzündlich, aber nicht explosibel; durch Zusatz von Wasser scheidet sich das Nitroglycerin aus demselben wieder ab. Dies wird benützt, um das Nitroglycerin ohne Gefahr zu transportiren: vor der Absendung wird es in Holzgeist aufgelöst und nach dem Einlangen durch Wasser aus der Mischung gezogen.

mit träger, inexplosiver Basis und in Dynamite mit activer, explosiver Basis.

Das wichtigste und verbreitetste Nitroglycerin-Präparat ist das Kieselguhr-Dynamit oder Nobel'sche Dynamit, auch Dynamit schlechtweg. Die Kieselguhr ist eine weissliche Kieselerde (Infusorienerde) von grossem Aufsaugungsvermögen, welches bis zur Aufnahme des dreifachen eigenen Gewichtes an Nitroglycerin gehen kann.

Nach dem Procentsatz des im Dynamit enthaltenen Nitroglycerins, welches seine Leistungsfähigkeit bedingt, werden die verschiedenen Dynamitsorten unterschieden und benannt; so heisst z. B. 75procentiges Dynamit (die stärkste Sorte) ein solches, in welchem 75 Gthl. Nitroglycerin an 25 Gthl. Kieselguhr gebunden sind. Das Dynamit ist ein gelblich oder röthlich gefärbtes Pulver, dessen Dichte je nach dem Nitroglyceringehalt zwischen 0·3 und 0·9 variirt; jedoch lässt sich das Dynamit durch Pressen bis zur Dichte von 0·7 bis 1·6 comprimiren. 75procentiges Dynamit hat im losen Zustande die Dichte 0·9, im gepressten aber 1·4 bis 1·6; 30procentiges Dynamit die Dichte 0·35, beziehungsweise 0·7. Zu weit gehende Pressungen oder anhaltende Erschütterungen des Dynamits (z. B. beim Transporte etc.) bewirken das Austreten des Nitroglycerins aus der Kieselguhr, wodurch die Verarbeitung desselben gefährlich wird.

Das normale Dynamit hat 72 % Nitroglyceringehalt und im gepressten Zustande eine Dichte von 1·4.

Die Entzündungstemperatur des Dynamits beträgt ungefähr 190°; seine chemische Stabilität ist grösser, als beim ledigen Nitroglycerin, seine Empfindlichkeit gegen Temperaturerhöhung, gegen Stoss, Schlag und Druck aber geringer, u. z. um so geringer, je kleiner der Nitroglyceringehalt ist. Es gefriert bei ungefähr + 8° Temperatur, erfordert zur Entzündung im gefrorenen Zustande, gleich dem Nitroglycerin, stärkere Entzündungsmittel; auch ist das Aufthauen etc. mit Explosionsgefahr verbunden.*

Das Dynamit ist ausschliesslich Sprengpräparat, daher zur Entzündung desselben nur starke Detonationszünder angewendet werden. Zu Kriegszwecken wird das Dynamit zur Ladung von Seeminen, zum Sprengen von Brücken, zur Zerstörung von Hindernissen im

* Das Erweichen der hartgefrorenen Dynamitpatronen wird in der Regel im lauwarmen Wasser vorgenommen, wobei jedoch, damit das Nitroglycerin nicht durch das Wasser ausgewaschen wird, das Dynamit nicht directe in das Wasser, sondern in ein anderes ins Wasser eingetauchtes Gefäss eingelegt wird.

Feld- und Festungskriege etc. verwendet. Bei Anwendung von grossen Ladungen wird das Dynamit meist in entsprechende Sprengbüchsen oder Sprengtonnen lose eingeschüttet und sodann gepresst; für Sprengungen im Kleinen werden gepresste Sprengpatronen in cylindrischer Form hergestellt und in Pergamentpapierhüllen verwahrt.

Man hat versucht, das Dynamit mit anderen explosiven Substanzen zu versetzen, um seine Wirksamkeit zu vermehren, ohne seine Empfindlichkeit gegen mechanische Einwirkungen zu steigern; die zugesetzte explosive Substanz soll daher gewissermassen das Nitroglycerin im minderprocentigen Dynamit theilweise ersetzen. Eine solche Mischung von Dynamit und Sprengpulver, welche den Namen Lithofracteur führt, ist aus 52 % Nitroglycerin, 30 % Kieselguhr, 4 % Natronsalpeter, 2 % Schwefel und 12 % Steinkohle zusammengesetzt. Der Lithofracteur ist gegen Schlag und Stoss sehr unempfindlich, explodirt leicht bei niederer Temperatur, brennt aber, auf gewöhnliche Art oberflächlich entzündet, selbst in fest verschlossenen Gefässen ohne Explosion ruhig ab. Hingegen ist der Lithofracteur gegen Feuchtigkeit empfindlich und weniger wirksam als Dynamit, worauf seine geringere Verbreitung zurückzuführen ist.

Ausser dem Kieselguhr-Dynamit haben noch folgende Nitroglycerin enthaltende Präparate eine grössere praktische Verwendung als Sprengpräparate gefunden:

Das weisse Dynamit (wegen seiner Verwendung zu Stein- und Braunkohlensprengungen auch Kohlendynamit genannt), zu welchem Bergkreide und Holzmehl als Aufsaugungsstoff für Nitroglycerin verwendet werden; das stärkste Präparat enthält ungefähr 70 % Nitroglycerin.

Das Rhexit, an Holzmoder gebundenes Nitroglycerin.

Das Cellulose-Dynamit, Holzzeug mit Nitroglycerin getränkt; Nitroglyceringehalt 75 %.

Das Dualin (Nobels Dynamit Nr. II*), eine Mischung von Nitroglycerin mit Holzmehl und Kalisalpeter; das Mischungsverhältniss ist: 52 % Nitroglycerin, 16 % Holzmehl, 30·5 % Salpeter, mit einem Zusatz von Soda.

Das Ternärpulver (Nobels Dynamit Nr. III), dem Dualin ähnlich, Mischungsverhältniss: 35 % Nitroglycerin, 53 % Salpeter, 10 % Holzmehl.

Das Schiesswoll-Dynamit, Schiesswollpasta mit Nitroglycerin getränkt; der Nitroglyceringehalt beträgt 70 %. Dieses dem Nitroglycerin an Wirkung wenig nachstehende Präparat wird hauptsächlich zu Zündpatronen, insbesondere zur Explodirung des gefrorenen Dynamits verwendet.

Die Sprenggelatine, eine Mischung von 90 % Nitroglycerin mit 10 % in Nitroglycerin löslicher Schiesswolle (Kollodiumwolle); die Sprenggelatine wird mit einem Zusatz von 4 % Kampfer verwendet.

Sonstige Nitroverbindungen.

Aus der grossen Reihe der durch Nitrirung der mannigfaltigsten Substanzen dargestellen explosiven Präparate sollen nur die nachstehenden kurz beschrieben werden:

---

* Zum Unterschiede hievon wird das Kieselguhr-Dynamit auch Nobels Dynamit Nr. I genannt.

Xyloidin (weisses Schiesspulver), dreifach nitrirtes Stärkemehl; chemische Formel:

$$[C_6H_{10}O_5 + 3HNO_3 =] \; C_6H_7(NO_2)^3O_5 \; (+ \; 3H_2O).$$

Die Versuche, dieses Präparat zu Schiesszwecken zu verwenden, führten wegen seiner unvollständigen Verbrennung in Feuerwaffen und seiner grossen Brisanz zu keinem befriedigenden Resultat.

Chemisches Pulver (Pulver von Schultze), nitrirtes Holz, bis zu 40 % in einer Lösung von Kalisalpeter und gelbem Blutlaugensalz getränkt. Dieses Präparat findet zum Schiessen aus Jagdgewehren sowie zu Sprengzwecken eine beschränkte Anwendung, da seine Leistungsfähigkeit jene der Schiesswolle und des Dynamits nicht erreicht.

Nitromannit, dreifach nitrirtes Mannit; chemische Formel:

$$[C_3H_7O_3 + 3HNO_3 =] \; C_3H_4(NO_2)^3O_3 \; [+ \; 3H_2O].$$

Dieses Präparat entzündet sich bei 120° Temperatur und soll eine sehr heftige Detonation geben, welche jener des Knallquecksilbers nahe kommt; aus diesem Grunde soll es sich vorzüglich als Zündpräparat eignen, ohne dass es jedoch bis jetzt eine weitere praktische Anwendung gefunden hätte.

Pikrinsäure, dreifach nitrirter Phenylalkohol (Trinitrophenol); chemische Formel: $[C_6H_6O + 3HNO_3 =] \; C_6H_3(NO_2)^3O \; [+ \; 3H_2O]$.

Die Pikrinsäure, welche bei rascher Erwärmung sehr heftig explodirt, daher als Schiesspräparat ungeeignet ist, findet selbst als Sprengpräparat nur geringe Anwendung. Hingegen wurde versucht, die aus der Pikrinsäure derivirten Präparate, die Pikrate, zur Bereitung von Schiess- und Sprengpulver zu verwenden; insbesondere ist dies mit Kaliumpikrat $C_6H_2K(NO_2)3O$ und mit Ammoniumpikrat $C_6H_2(NH_4)(NO_2)^3O$ der Fall. Pulver mit Kaliumpikrat (Pulver von Designolle) enthält als Geschützpulver 8—15 %, als Gewehrpulver 15—20 % Kaliumpikrat, welches mit Salpeter und Kohle gemengt wird; das Sprengpulver enthält bis zu 90 % Kaliumpikrat, mit Salpeter gemengt. In Frankreich findet dieses Pulver, insbesondere das Sprengpulver, eine ziemlich ausgedehnte Anwendung. Ammoniumpikrat, im Verhältnisse von 54 % mit 46 % Kalisalpeter gemengt, gibt ein kräftiges Sprengpräparat, welches sich vor anderen Präparaten durch die Ungefährlichkeit bei der Behandlung auszeichnet.

IV. Entzündungsmittel.

Die Entzündung der explosiven Präparate, sowol wenn sie als Schussladungen in Feuerwaffen, als auch wenn sie als Sprengladungen verwendet werden, geschieht selten durch directe Zuführung von Wärme auf gewöhnliche Weise (Berührung mit einem brennenden oder glühenden Körper, durch elektrische Funken etc.); ebenso selten werden hiezu mechanische Einwirkungen (Schlag, Stoss, Reibung etc.), selbst wenn das betreffende Präparat hiedurch leicht zur Explosion gebracht werden könnte, in directer Weise angewendet. In der Regel geschieht die Entzündung der Ladungen durch die Hilfsexplosion einer kleinen Menge eines anderen Präparates, und man nennt die

zu diesen Hilfsexplosionen (Initialexplosionen) hauptsächlich geeigneten und verwendeten Präparate Zündpräparate.

Man verlangt von den Zündpräparaten vorzüglich leichte Entzündlichkeit, Entbindung einer beträchtlichen Wärmemenge und, sofern sie die Entzündung von Sprengpräparaten bewirken sollen, grosse Brisanz, um grössere Mengen der Ladung möglichst momentan zu zersetzen.

Vornehmlich sind es zweierlei Stoffe, welche hiebei in Betracht kommen: Präparate mit Kaliumchlorat und das Knallquecksilber; die ersteren sind mechanische Gemenge, das Knallquecksilber aber ist eine chemische Verbindung.

Das **Kaliumchlorat,** $KClO_3$, gibt seinen Sauerstoff an alle oxydirbaren Stoffe sehr leicht ab: mit Phosphor und Schwefel gemengt explodirt es durch Schlag und Reibung sehr leicht und mit bedeutender Wärmeentwicklung. Grösstentheils wird ein Gemisch von Kaliumchlorat und Schwefelantimon als Zündpräparat verwendet; dieses Präparat wird dort benützt, wo eine grosse Brisanz nicht gefordert wird oder wo sie zwecklos wäre, also hauptsächlich zur Entzündung von Schiesspräparaten. Das Kaliumchlorat wird auch solchen Zündsätzen aus Knallquecksilber beigesetzt, deren Brisanz man vermindern will.

Das **Knallquecksilber** ist ein Derivat des Nitroacetilnitrils $CN \cdot C(NO_2)H_2$, aus welchem es durch Eintreten des Quecksilbers anstatt des Wasserstoffes entsteht; die chemische Formel desselben ist demnach $CN \cdot C(NO_2)Hg$. Das Knallquecksilber ist der Selbstzersetzung und Selbstentzündung unterworfen; die Elaborirung und Behandlung desselben ist nicht ohne Gefahr. Es entzündet sich bei einer Temperatur von 180—188°; im trockenen Zustande explodirt es leicht durch einen Schlag von Eisen auf Eisen, weniger leicht durch einen Schlag von Eisen auf Kupfer oder von Eisen auf Blei. Die Feuchtigkeit beeinträchtigt die Explodirbarkeit bedeutend; bei Berührung des freiliegenden oder in Papier eingehüllten Knallquecksilbers mit einem glühenden Körper erfolgt keine Explosion, sondern nur ein Verpuffen. Durch Schlag gezündet, gibt es eine Explosion, welche jene aller bisher zur praktischen Verwendung gekommenen Präparate an Heftigkeit übertrifft.* Aus diesem Grunde wird das Knall-

* Die noch heftiger explodirenden Substanzen: Knallsilber, Chlor-, Jod-, Bromstickstoff etc. sind wegen ihrer überaus leichten Entzündlichkeit praktisch unverwendbar.

quecksilber vorzüglich zur Entzündung der zu Sprengzwecken dienenden Nitroverbindungen: Schiesswolle, Dynamit etc., verwendet, welche es, in einer der Masse des zu zündenden, fest eingeschlossenen Präparates entsprechenden Menge angewendet und möglichst in der Mitte desselben postirt, zu augenblicklicher vollständiger Explosion (Detonation) bringt und somit die grösstmögliche brisante Kraftleistung verursacht;* die mit Knallquecksilber gefüllten Zündkapseln werden daher vorzugsweise Detonateure oder Detonationszünder genannt.

Das Knallquecksilber wird häufig für solche Zündsätze, mit welchen keine Detonation beabsichtigt wird, mit anderen minder brisanten Substanzen: Kaliumchlorat, Schiesspulver etc., versetzt, um seine Brisanz und Gefährlichkeit zu vermindern.

Ausser den Zündsätzen, welche Knallquecksilber oder Kaliumchlorat als Hauptbestandtheil enthalten, kommen noch Zündsätze aus Nitroverbindungen selbst, sowie für schwächere Initialexplosionen (zur Entzündung des Pulvers) solche vor, welche nur Bestandtheile des Schiesspulvers (Salpeter, Schwefel, Mehlpulver) enthalten. —

---

* Die Fähigkeit des Knallquecksilbers, eine sehr rasche Zersetzung von leicht entzündlichen Präparaten zu bewirken, wird so aufgefasst, dass es infolge seiner grossen Brisanz eine heftige Erschütterung hervorbringt, welche rasch durch die ganze Masse des zu entzündenden Präparates dringt und die entfernteren Theile ebenso wie die unmittelbar angegriffenen momentan zersetzt; die Einwirkung des explodirenden Knallquecksilbers ist demnach hauptsächlich eine dynamische, einem starken Schlag zu vergleichende. Die rasche Verbreitung der Erschütterung erklärt es auch, warum selbst nicht eingeschlossene Präparate durch das Knallquecksilber vollständig zur Explosion gebracht werden, während dies durch einen gewohnlichen Schlag in der Regel nicht geschieht. — Professor Abel hat die Hypothese aufgestellt, dass ein Präparat durch die Explosion eines andern zur vollständigen momentanen Zersetzung gebracht wird, wenn zwischen den durch die Explosion entstehenden Vibrationen in beiden Präparaten Synchronismus herrscht, so dass die Vibrationen des zuerst explodirenden Präparates die gleichen Vibrationen in dem zu entzündenden Präparate sehr leicht hervorrufen. Diese Hypothese wird durch die Thatsache unterstützt, dass das heftiger explodirende Knallsilber das Dynamit nicht so leicht zur Explosion bringt, als Knallquecksilber, dass letzteres das Dynamit auch auf einige Entfernung explodirt, was beim Knallsilber nicht der Fall ist. Es wäre demnach die Detonirung der Nitroverbindungen durch das Knallquecksilber auf den Synchronismus der Explosionsvibrationen des Knallquecksilbers und dieser Präparate zurückzuführen; dieser Synchronismus der Schwingungen besteht zwischen dem Schiesspulver und dem Knallquecksilber nicht; daher kann das erstere durch das letztere allein nicht zur Detonation gebracht werden.

Häufig geschieht die Entzündung der Ladungen auch noch nicht direct durch das eigentliche Zündpräparat (die Zündkapsel), sondern wird durch eine Hilfsladung vermittelt, welche die Wirkung des Zündpräparates verstärkt. Als Hilfsladung verwendet man bei Entzündung des Pulvers (mittelst Brandeln, Geschosszündern etc.) in der Regel eine kleine Quantität Pulver, welche den Namen Schlagladung führt. Aehnliche Hilfsladungen kommen auch bei Entzündung von nasser Schiesswolle und des gefrorenen Dynamits oder grosser Dynamitladungen mittelst Knallquecksilberkapsel vor. Als Hilfsladung für nasse Schiesswolle wird trockene Schiesswolle, für Dynamit aber Schiesswolledynamit, ungefrorenes Kieselguhrdynamit, Ternärpulver etc. verwendet; die Hilfsladung mit der in dieselbe eingesetzten Zündkapsel führt den Namen Zündpatrone. --

Die Art, wie die Entzündung des Zündpräparates selbst eingeleitet wird, ist verschieden und richtet sich darnach, ob auf das Zündpräparat direct eingewirkt werden kann oder ob dieses aus grösserer Entfernung geschehen muss. Die directe Einwirkung kann geschehen:

durch Schlag (Percussion), — diese Entzündungsart ist bei allen Knallquecksilber enthaltenden Kapseln (in den Patronen der kleinen Feuerwaffen, in den Seeminen etc.) die gewöhnlichste, aus welchem Grunde die Knallquecksilber enthaltenden Zündsätze vorzugsweise Percussionssätze genannt werden;

durch Reibung (Friction), — diese Zündungsart kommt gewöhnlich bei allen Zündsätzen vor, welche als Hauptbestandtheil Kaliumchlorat (ohne Knallquecksilber) enthalten, daher solche Sätze auch den Namen Frictionssätze führen;

durch directe Zuführung von Wärme, nämlich durch Berührung mit glühenden Stangen oder Kolben, mit der Lunte (einem in einer Auflösung von Salpeter und Bleiweiss gebeizten Hanfstrick), mit dem Zündlicht (einem aus Salpeter, Schwefel, Schwefelantimon, Mehlpulver und Leinöl gemengten, selbst im Wasser brennenden Satze, welcher in eine Papierröhre eingepresst wird) etc.

Die Entzündung der Zündpräparate auf grössere Entfernung geschieht grösstentheils durch Elektricität, u. zw. entweder durch einen im Zündsatz überspringenden elektrischen Funken oder mittelst eines durch den elektrischen Strom zum Glühen gebrachten dünnen Platindrahtes; für die erstere Entzündungsweise ist Spannungselektricität (Reibungselektricität, inducirte und Extraströme etc.), für die letztere aber ein quantitativer elektrischer Strom erforderlich.

Es können aber auch, insbesondere zur Entzündung der nur Pulverbestandtheile enthaltenden Zündsätze oder zur directen Zündung einer Ladung (Sprengpulver bei Gesteinsprengungen im Kleinen etc.), langsam brennende Brandsätze, Stoppinen und Zündschnüre verwendet werden. Die häufigste Anwendung findet die Bickford-Zündschnur, ein von Jutefäden umschlossener Satz aus Mehlpulver, welcher überdies noch entweder durch Umspinnung mit getheerten Hanffäden oder durch eine Guttaperchahülle geschützt ist.

Zweiter Abschnitt.

Einrichtung der Geschosse.

Das Geschoss, als derjenige Körper, welcher durch die Expansion des Pulvergases aus dem Geschützrohre getrieben wird, um auf grössere Entfernung gegen feindliche Objecte zerstörend oder sonst beschädigend zu wirken, muss im Allgemeinen derart eingerichtet sein, dass es erstlich während seines Fluges einen möglichst geringen Verlust der an der Geschützmündung in sich aufgenommenen lebendigen Kraft erleide, um grosse Distanzen zu erreichen und am Zielobjecte eine kräftige Percussionswirkung auszuüben, und dass ferner seine Flugbewegung regelmässig vor sich gehe, damit bei rationeller Einstellung (Richtung) des Geschützes auf das Treffen des Zielobjectes gerechnet werden kann.

Der Verlust an lebendiger Kraft während des Fluges entsteht hauptsächlich dadurch, dass das Geschoss den Widerstand der Luft zu überwinden hat; der Luftwiderstand ist wesentlich von der Grösse und Form der Fläche, welche das Geschoss dem directen Angriffe desselben aussetzt, daher von der äusseren Form des Geschosses im Allgemeinen abhängig. Nimmt man an, dass das Geschoss während seines ganzen Fluges wie beim Verlassen des Rohres mit seiner Längenaxe in der Bewegungsrichtung verbleibt, daher nur seinen Vordertheil (die Spitze oder den Kopf) dem Luftwiderstande darbietet, so wird einerseits die Querschnittsfläche des Geschosses, andererseits die Form der Spitze von massgebendem Einflusse für den Luftwiderstand sein. Es wird demnach von zwei Geschossen, welche eine und dieselbe Querschnittsdimension (den gleichen Kaliber) haben, dasjenige einen kleineren Luftwiderstand erleiden, dessen Spitze günstiger für das Eindringen in die Luft gestaltet ist; bei gleicher Form der Spitze hingegen wird der Luftwiderstand mit der Grösse der Querschnittsdimension, welche die Grösse der Oberfläche der Spitze bedingt, wachsen.

Die Verzögerung, welche das Geschoss durch den Luftwiderstand von bestimmter Grösse erleidet, ist umso kleiner, je grösser die Masse (das Gewicht) des Geschosses ist; denn bezeichnet m die Geschossmasse, W die Grösse des Luftwiderstandes, ω die Verzögerung, so ist $m\omega = W$, daher $\omega = \frac{W}{m}$. Ist ferner G das Gewicht, f die Querschnittsfläche des Geschosses, und wird $W = f \cdot \mathfrak{W}$ gesetzt, so folgt $\omega = g\frac{f}{G}\mathfrak{W}$ oder, wenn $\frac{G}{f} = \mathfrak{G}$ eingeführt wird, $\omega = g\frac{\mathfrak{W}}{\mathfrak{G}}$; hier bezeichnet $\mathfrak{W} = \frac{W}{f}$ den auf die Flächeneinheit des Geschossquerschnittes entfallenden, je nach der Form der Geschosspitze verschiedenen Luftwiderstand: den specifischen Luftwiderstand auf das Geschoss von bestimmter Form, — $\mathfrak{G}$ den auf die Querschnittseinheit entfallenden Theil des Geschossgewichtes: die specifische Belastung des Geschossquerschnittes. Die durch den Luftwiderstand verursachte Verzögerung des Geschosses wird demnach umso kleiner sein, je kleiner der specifische Luftwiderstand und je grösser die specifische Querschnittsbelastung ist.

Die Belastung des Querschnittes ist von der Construction und den Dimensionen, insbesondere von der Länge des Geschosses, und bei gleichen Dimensionen von dem specifischen Gewichte des Materials, aus welchem das Geschoss angefertigt ist, abhängig. Um eine möglichst grosse Belastung des Querschnittes zu erzielen, wählt man daher für die Geschosse Materien von grossem specifischen Gewicht. Von allen hier in Betracht kommenden Materien würde sich in dieser Beziehung das Blei als Geschossmaterial am besten eignen, und es wird auch dort, wo seiner Anwendung keine Gründe entgegenstehen, wie bei den Geschossen der kleinen Feuerwaffen, vorzugsweise hiezu verwendet. Für Geschützgeschosse jedoch schliesst die Rücksicht auf die vom Geschosse auszuübende Wirkung die Anwendung des Bleies als Hauptbestandtheil aus, da diese Geschosse entweder, wie die zum Durchschlagen von starken Hindernissen bestimmten Percussionsgeschosse, ein Material von grosser Festigkeit oder, wie die Sprenggeschosse, ein spröderes Material erfordern. Nachdem das Eisen diesen Anforderungen entspricht und ein genügend grosses specifisches Gewicht hat, so wird dasselbe fast ausschliesslich zur Herstellung von Geschossen für die Geschütze verwendet.

Die specielle Einrichtung der verschiedenen Geschossgattungen ist durch die mit ihnen zu erreichende specielle Wirkung bedingt.

I. Aeussere Form der Geschosse.

Die einfachste Form des Geschosses ist die sphärische. Bei den sphärischen Geschossen (Rundgeschossen) ist jedoch wegen der invariablen Form der specifische Widerstand ein vollkommen bestimmter, unabänderlicher; ebenso ist bei gegebenem Kaliber und Geschossmaterial die specifische Querschnittsbelastung unabänderlich festgestellt. Diese Form bietet daher nur eine Möglichkeit, auf Basis einer bestimmten Dichte* des Geschossmaterials die durch den Luftwiderstand bedingte Verzögerung des Geschosses zu vermindern, nämlich durch Vergrösserung des Kalibers, wobei die specifische Querschnittsbelastung grösser wird, während der specifische Widerstand unverändert bleibt. Aus diesem Grunde wurde die sphärische Geschossform, welche durch lange Zeit in der Artillerie ausschliessliche Geltung hatte, durch die cylindrische ersetzt. Der Cylinder hat nicht nur bei gleicher Länge mit der Kugel eine grössere Belastung des Querschnittes, sondern es kann auch diese durch Variirung der Länge (ohne Aenderung des Kalibers) beliebig verändert werden; ebenso verhält es sich auch mit dem Luftwiderstande, da man den Vordertheil des Cylinders in beliebiger Weise gestalten, daher auch derart einrichten kann, dass der Luftwiderstand auf die Geschosspitze ein möglichst kleiner wird.

Um die günstigste Form der Geschosspitze theoretisch zu finden, muss zunächst die Art der Einwirkung des Luftwiderstandes auf das Geschoss in Betracht gezogen werden. Als Basis dieser Betrachtung soll angenommen werden, dass sich ein Cylinder (mit ebenen Stirnflächen) in der Richtung seiner Längenaxe in der Luft bewegt, dass ferner die Luft, an welche die vordere Fläche des Cylinders stösst, mit derselben Geschwindigkeit zur Seite ausweicht, welche das Geschoss momentan besitzt, so dass vor dem Geschosse keinerlei Anhäufung (Verdichtung) der Luft stattfindet. Nachdem die ausweichende Bewegung der Luft durch das Geschoss veranlasst wird, so verliert dieses an Arbeit so viel, als angewendet werden muss, um die Bewegung der Luft zu bewirken: die Kraft

* Hier ist die durchschnittliche Dichte bei gleichmässiger Vertheilung des Gewichtes auf das Volumen des Geschosses zu verstehen; diese Dichte ist nur bei homogenen Vollgeschossen gleich dem specifischen Gewichte des Materials, bei Hohlgeschossen aber kleiner als dasselbe.

welche, am Geschoss angebracht gedacht, obigen Arbeitsverlust hervorruft, heisst Luftwiderstand. Der Arbeitsverlust des Geschosses äussert sich in der Verminderung seiner Geschwindigkeit, welch' letztere daher als eine variable Grösse betrachtet werden muss.

Bezeichnet man die Geschwindigkeit des Geschosses in irgend einem Zeitmomente seiner Bewegung mit v, den Weg, welchen das Geschoss während des Zeitelements dt zurücklegt, mit dx, und den Flächeninhalt seiner Stirnfläche (oder des Querschnittes) mit f, so ist $f dx$ das Volumen, und wenn σ das Gewicht der Volumseinheit der Luft bedeutet, $\sigma f dx$ das Gewicht der Luft, welche in Bewegung gesetzt wird; die lebendige Kraft dieser Bewegung ist $\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma f dx}{g} v^2$. Bezeichnet man ferner mit w die Kraft, welche während des Weges dx aufgewendet werden muss, um diese Bewegung zu bewirken, so ist $w dx = \frac{\sigma f dx}{2g} v^2$, woraus $w = \frac{\sigma f}{2g} v^2$ folgt; diese Kraft ist demnach das Mass des Luftwiderstandes.

Setzt man $\frac{v^2}{2g} = h$, so ist h die Höhe, von welcher ein Körper herabfallen muss, um im freien Falle die Geschwindigkeit v zu erreichen (die Geschwindigkeitshöhe von v); demnach lautet das Gesetz für den Luftwiderstand gegen ein cylindrisches Geschoss $w = fh\sigma$ in Worten: Der Luftwiderstand auf ein Geschoss mit ebener vorderer Begrenzungsfläche ist gleich dem Gewichte einer Luftsäule, deren Basis gleich dem Geschossquerschnitte, deren Höhe gleich der Geschwindigkeitshöhe der momentanen Geschossgeschwindigkeit ist.

Bezüglich der Grösse des Luftwiderstandes in verschiedenen Punkten der Geschossbahn gibt die Gleichung $w = \frac{f\sigma}{2g} v^2$, da f für ein und dasselbe Geschoss, so lange dieses mit seiner Axe in der Bewegungsrichtung bleibt, ebenso auch σ, das Eigengewicht der Luft, für Einen Schuss als constant zu betrachten ist, dass der Luftwiderstand im directen Verhältnisse zum Quadrate der jedesmaligen Geschwindigkeit steht, sich daher in derselben Weise wie dieses Quadrat ändert; dieses Gesetz der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschossgeschwindigkeit wird das quadratische Luftwiderstandsgesetz genannt. Dieses Gesetz ändert sich nicht, so lange die als Grundlage desselben angenommene Art der Einwirkung der Luft auf die Geschossbewegung festgehalten wird, wenn der ebenen,

zur Geschossaxe senkrechten Begrenzungsfläche des Geschosses eine geneigte Fläche oder eine Abrundung substituirt wird, nur dass dann, wegen des leichteren Abfliessens der Luft an geneigten Flächen, der Luftwiderstand ein kleinerer ist, daher der oben aufgestellte Ausdruck für denselben mit einem die Form der Geschosspitze berücksichtigenden Zahlenfactor $a < 1$ multiplicirt werden muss; das quadratische Luftwiderstandsgesetz ist demnach in allgemeiner Fassung durch die Gleichung

$$W = a \frac{f\sigma}{2g} v^2$$

ausgedrückt.

Der Einfluss der widerstehenden Luft auf die Geschossbewegung ist jedoch nicht so einfacher Natur, als vorausgesetzt wurde. Vor Allem ist auf ein vollständiges Ausweichen der Luft nach der Seite nicht zu rechnen, sondern es wird die Luft vor dem Geschosse verdichtet, u. zw. in umso grösserem Grade, je grösser die Geschwindigkeit des Geschosses ist. Ferner wird durch das Eindringen des Geschosses in die Luft hinter demselben zunächst ein leerer Raum erzeugt, in welchen die Luft einzuströmen strebt; hiebei geschieht eine Ausdehnung der einströmenden Luft, so dass die den Geschossboden erreichenden Lufttheilchen stets eine kleinere Dichte als die Atmosphäre haben. Diese Verdünnung der Luft am Geschossboden wird umso bedeutender sein, je grösser die Geschossgeschwindigkeit und je grösser der von den Lufttheilchen vom Rande bis zum Mittelpunkte des Geschossbodens zurückzulegende Weg* ist. Je grösser die Luftverdichtung an der vorderen Fläche des Geschosses und die Luftverdünnung am Geschossboden, desto grösser wird der Arbeitsverlust des Geschosses beim Durchdringen der Luft sein; nachdem diese beiden Factoren mit dem Zunehmen der Geschossgeschwindigkeit wachsen, so ist auch in dieser Beziehung der Luftwiderstand in directer Weise von der Geschossgeschwindigkeit abhängig. Diese Umstände, sowie die Reibung der Lufttheilchen an der Oberfläche des Geschosses und bei cylindrischen Geschossen das Schwanken der Geschossaxe, wodurch das Geschoss nicht stets eine und dieselbe Fläche dem Luftwiderstande darbietet, lässt die oben angegebene Ableitung des quadratischen Luftwiderstandsgesetzes ausser Betracht; dieses Gesetz kann demnach, mindestens dem absoluten Werthbetrag des Luftwiderstandes nach, wie er sich aus der Gleichung $w = \frac{f\sigma}{2g} v^2$ für die ebene Begrenzungsfläche der Geschosspitze ergibt, nicht als unumstösslich richtig gelten. Dies wurde durch mehrfache Schiessversuche, bei welchen aus der auf verschiedene Entfernungen gemessenen Geschossgeschwindigkeit sowie aus erreichten Schussdistanzen die Grösse des Luftwiderstandes gerechnet wurde, bestätigt. Es hat selbstverständlich nicht an Bemühungen gefehlt, den richtig

* In letzterer Beziehung wächst die Luftverdünnung mit dem Kaliber des Geschosses; bei gleichem Kaliber wird die Luftverdünnung kleiner sein, wenn das Geschoss rückwärts conisch zulauft oder abgerundet ist. Es ist demnach auch die Form des Hintertheils des Geschosses nicht ohne Einfluss auf die Grösse des Luftwiderstandes.

erkannten Ursachen des Luftwiderstandes durch Modification des Luftwiderstandsgesetzes Rechnung zu tragen. Der Gang dieser Modification lässt sich ungefähr folgendermassen skizziren:

1.) Das quadratische Luftwiderstandsgesetz wird als formal richtig angenommen, d. h. es wird vorausgesetzt, dass alle Einflüsse, welche den Luftwiderstand bedingen, von der zweiten Potenz der Geschossgeschwindigkeit abhängen; dies führt auf die Gleichung

$$W = \lambda \cdot \frac{f\sigma}{2g} v^2$$

wobei λ ein im Allgemeinen unbestimmter Coëfficient ist, dessen ziffermässige Feststellung in jedem concreten Falle durch Rechnung, nach den Ergebnissen der Schiessproben geschieht.

2.) Das quadratische Luftwiderstandsgesetz wird für jenen Theil des Widerstandes, welcher durch das seitliche Ausweichen der Luft veranlasst wird, beibehalten, die übrigen Einflüsse werden als von einer andern Potenz der Geschwindigkeit abhängig betrachtet; diess führt auf das zweigliederige Luftwiderstandsgesetz, dessen allgemeine Form durch

$$W = a\frac{f\sigma}{2g} v^2 + bv^n$$

dargestellt ist. Das bekannteste und sehr häufig angewendete zweigliedrige Luftwiderstandsgesetz ist das von Euler vorgeschlagene und nach ihm benannte, in welchem $n = 4$ ist.

3.) Die Grundlage des quadratischen Gesetzes wird gänzlich verlassen und angenommen, dass die den Luftwiderstand bedingenden Einflüsse in ihrer Gesammtheit von einer anderen als der zweiten Potenz der Geschwindigkeit abhängen; dies führt auf das allgemeine eingliedrige Luftwiderstandsgesetz, welches durch die Gleichung

$$W = c\frac{f\sigma}{2g} \cdot v^n$$

oder noch allgemeiner durch $W = Av^n$ ausgedrückt ist. Die gebräuchlichsten eingliedrigen, vom quadratischen abweichenden, Luftwiderstandsgesetze sind das cubische $W = Av^3$ und das biquadratische $W = Av^4$.

Den Zusammenhang zwischen den vorstehend angeführten Widerstandsgesetzen kann man sich auch folgendermassen vorstellen: Wird das quadratische Gesetz in seiner allgemeinen Form $W = \lambda\frac{f\sigma}{2g} v^2$, wobei λ eine von der Geschossform abhängige absolute Zahl bedeutet, als Grundtypus angenommen, so ändert beim Uebergange zu einem anderen Gesetze nur λ seine Bedeutung, indem es selbst als Function der Geschwindigkeit auftritt, u. zw. ist

für das cubische Gesetz $\lambda = \lambda_1 v$

» » biquadratische » $\lambda = \lambda_2 v^2$

» » Euler'sche » $\lambda = \lambda_3\left(1 + \frac{v^2}{\gamma^2}\right)$

zu setzen.

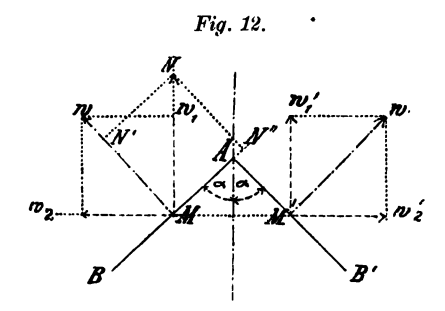
4.) Der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschossgeschwindigkeit wird die allgemeinste Fassung gegeben, d. h. die Grösse des Luftwiderstandes wird als eine im Allgemeinen unbestimmte Function der Geschossgeschwindigkeit $W = f(v) = mv + nv^2 + pv^3 + qv^4 + \ldots\ldots$ ausgedrückt; die Ergebnisse der Schiessproben sollen in jedem concreten Falle darauf hinweisen, wie viele und

welche Glieder dieser Reihe am passendsten fürzuwählen sind und welcher Werth den bezüglichen constanten Coëfficienten $m, n, p, q \ldots$ zukommt.

Durch alle diese Modificationen wurde die Frage nach dem unbedingt richtigen, allgemein giltigen Luftwiderstandsgesetze nicht gelöst; alle Gesetze, die complicirten wie die einfachsten (die eingliedrigen), haben, formal genommen, eine relative Richtigkeit, so dass bei ballistischen Rechnungen die Wahl des Luftwiderstandsgesetzes von geringerer Bedeutung, die Bestimmung der in die Gleichung eingeführten constanten Coëfficienten aus den Ergebnissen der Schiessproben aber die Hauptsache ist. Aus diesem Grunde kann man hier, wo es sich um die Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Form der Geschosspitze handelt, das quadratische Luftwiderstandsgesetz, welches eine aus einer bestimmten Hypothese über den Einfluss der Luft hervorgegangene wissenschaftliche Grundlage hat, beibehalten, indem man es als formal richtig ansieht.

Bei der Ableitung des quadratischen Luftwiderstandsgesetzes wurde nur die vordere Begrenzungsfläche des Geschosses in Betracht gezogen; die der Gleichung $w = \frac{J\sigma}{2g} v^2$ oder allgemeiner $w = kfv^2$ entsprechende Grösse des Luftwiderstandes kommt demnach einer Ebene vom Flächeninhalt f zu, welche sich in zu sich selbst senkrechter Richtung mit der Geschwindigkeit v bewegt. Geht jedoch die Bewegung nicht in dieser Richtung, sondern in einer andern vor sich, welche mit der Ebene AB (*Fig. 12*) den Winkel α einschliesst, so kann die Geschwindigkeit $MN = v$ der Ebene in zwei Componenten $MN' = v \sin \alpha$ und $MN'' = v \cos \alpha$ zerlegt werden. MN' als die zur Ebene senkrechte Componente bezeichnet diejenige Geschwindigkeit, welche den Lufttheilchen ertheilt werden muss, um ihr seitliches Ausweichen zu bewirken, während die Componente MN'' die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher die Lufttheilchen ohne weitere Einwirkung der Fläche frei abströmen können.* Demnach wird der Luftwiderstand, welchen die Ebene erleidet, $w = kf(v \sin \alpha)^2 = kfv^2 \sin^2 \alpha$ sein.

Fig. 12.



* Die durch dieses Abströmen verursachte Reibung der Luft an der Fläche, sowie die infolge des leichteren Abfliessens der Luft gegen B zu eintretende ungleiche Vertheilung des Druckes auf der Ebene kommen hier nicht weiter in Betracht.

Dieser Widerstand ist eine in der Richtung MN' wirkende verzögernde Kraft; wird dieselbe in zwei Componenten $w_1 = w \sin \alpha = = kfv^2 \sin^3\alpha$ und $w_2 = w \cos \alpha$ zerlegt, so bewirkt w_1 die Verzögerung des Geschosses in der Bewegungsrichtung, bezeichnet daher die Grösse des durch die Bewegungsrichtung modificirten Luftwiderstandes, während die Componente w_2 einen seitlichen Druck auf die Ebene AB bewirkt, welcher dieselbe aus ihrer Bewegungsrichtung zu drängen strebt. Ist jedoch mit der Ebene AB eine ganz gleiche und unter demselben Winkel α gegen die Bewegungsrichtung geneigte AB' fix verbunden, so heben sich die gleichen, aber einander gerade entgegengesetzten Druckcomponenten w_2 und w_2' gegenseitig auf. Damit das Geschoss bei normaler Bewegung (in der Richtung seiner Axe) keinen Seitendruck erleidet, muss demnach der Kopf desselben von symmetrisch angeordeten Flächen begrenzt sein; nachdem die Rotationskörper: Kegel, Halbkugel, Ellypsoid, Paraboloid, Hyperboloid etc. dieser Forderung entsprechen und sich überdies der cylindrischen Form des Geschosshintertheils am besten anpassen, so wird die Geschosspitze ausschliesslich als Rotationskörper, dessen Rotationsaxe mit der Geschossaxe zusammenfällt, construirt.*

Die Wirkungen der verzögernden Druckcomponenten w_1 und w_1' summiren sich; denkt man sich den Vordertheil des Geschosses durch Ebenen begrenzt, welche sämmtlich den Winkel α mit der Geschossaxe als Bewegungsrichtung einschliessen und den Gesammtflächeninhalt Σf haben, so wird der Luftwiderstand auf diese Geschossspitze sein: $W = k\Sigma f . v^2 \sin^3\alpha$, oder wenn man kv^2, den Widerstand, welchen die Ebene vom Flächeninhalte $= 1$ bei ihrer Bewegung in senkrechter Richtung erleidet (den normalen Luftwiderstand auf die Flächeneinheit), mit $\mathfrak{w}$ bezeichnet,

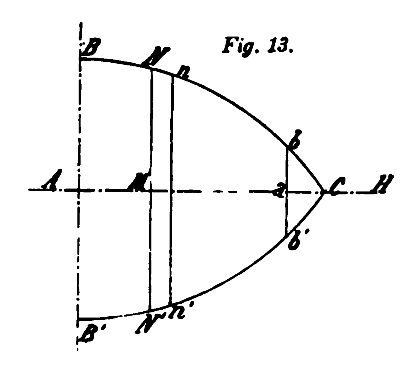
$$W = \mathfrak{w} \Sigma f . \sin^3\alpha.$$

Ist jedoch die Geschosspitze durch krumme Flächen begrenzt, bei welchen α, der Winkel der Tangentialebene mit der Geschossaxe, veränderlich ist, so ist, wenn df das Flächenelement bezeichnet,

$$W = \mathfrak{w} \int df . \sin^3\alpha.$$

---

* Andere Formen, welche ebenfalls zur Axe symmetrische Flächen haben, wie z. B. die senkrechte Pyramide mit gerader Seitenzahl, eignen sich hauptsächlich deshalb nicht zu Geschosspitzen, weil sie nicht zur cylindrischen Form des Hintertheils passen, daher sich zwischen beiden ein für den Luftwiderstand nachtheiliger Absatz ergibt.



Sei in *Fig. 13* $ABNCN'B'$ der Längenschnitt einer durch Rotation entstandenen Geschosspitze, AH die Geschossaxe und zugleich Rotationsaxe, BNC die Curve, durch deren Rotation die Oberfläche entsteht, und seien $AM = x$, $MN = y$ die Coordinaten des Punktes N; nachdem für die elementare Oberfläche des Stutzconus $NN'n'n$ der Tangentenwinkel α constant ist, so ist in die obige Gleichung für df die Oberfläche dieses Stutzconus $2y\pi ds$ zu setzen, daher

$$W = \mathfrak{w}\pi \int 2y ds \,.\, \sin^3\alpha.$$

Ersetzt man hierin $\sin\alpha$ durch $\frac{dy}{ds}$, so hat man

$$W = 2\mathfrak{w}\pi \int yds \frac{dy^3}{ds^3} = 2\mathfrak{w}\pi \int ydy \frac{dy^2}{ds^2} = 2\mathfrak{w}\pi \int ydy \frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$$

$$W = 2\mathfrak{w}\pi \int \frac{ydy}{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} + C$$

Um durch die hier angezeigte Integration den Luftwiderstand gegen die durch Rotation einer bestimmten Curve erzeugte Oberfläche zu bestimmen, muss $\left(\frac{dx}{dy}\right)^2$ aus der Gleichung der rotirenden Curve eingesetzt werden; die Grenzen der Integration sind: $AB = r$ der Radius des Geschosses, wenn in der Fläche BB' die Geschosspitze mit dem cylindrischen Hintertheil zusammenstösst, und $ab = c$ der Radius der Abplattung des Geschosskopfes an der Spitze, wenn eine solche vorhanden. Für abgeplattete Geschossköpfe kommt noch zu diesem Luftwiderstand, welcher sich nur auf die durch die Rotation der Curve erzeugte Oberfläche $Bbb'B$ (die Mantelfläche) bezieht, der Widerstand auf die Abplattung bb'; diese ist eine zur Bewegungsrichtung normale Ebene vom Flächeninhalte $c^2\pi$, daher der Widerstand auf dieselbe $W' = c^2\pi\mathfrak{w}$. Der Gesammtwiderstand auf einen Geschosskopf mit Abplattung ist demnach:

$$W_s = W + W' = \mathfrak{w}c^2\pi + 2\mathfrak{w}\pi \int_c^r \frac{ydy}{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} = \mathfrak{w}\pi \left[c^2 + 2 \int_c^r \frac{ydy}{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}\right],$$

auf einen Geschosskopf ohne Abplattung

$$W = 2\mathfrak{w}\pi \int_o^r \frac{y\,dy}{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}.$$

Für den Kegel *(Fig. 14)* ist, wenn die Höhe desselben $Aa = h$ gesetzt wird, $y = r - BS$, BS bestimmt sich aus der Proportion $BS : x = (r - c) : h$ mit $BS = x\frac{r-c}{h}$, daher ist $y = r - x\frac{r-c}{h}$,

Fig. 14.

$$\text{woraus } dy = -\frac{r-c}{h}\,dx,\quad \frac{dx}{dy} = -\frac{h}{r-c},\quad \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \frac{h^2}{(r-c)^2}$$

folgt, hiemit wird der Widerstand auf die Mantelfläche

$$W = \mathfrak{w}\pi\,\frac{(r^2-c^2)(r-c)^2}{h^2+(r-c)^2}$$

und der Gesammtwiderstand:

$$W_s = \mathfrak{w}\pi\left[c^2 + \frac{(r^2-c^2)(r-c)^2}{h^2+(r-c)^2}\right] = \mathfrak{w}\pi\,\frac{c^2h^2+r^2(r-c)^2}{h^2+(r-c)^2}.$$

Ohne Abplattung $(c = o)$ ist $W = \mathfrak{w}\pi\,\frac{r^4}{h^2+r^2}$.

Den specifischen Widerstand $\mathfrak{W}$ auf den Kegel findet man, indem man W_s durch die Querschnittsfläche $f = r^2\pi$ dividirt; wenn $\frac{c}{r} = \mathfrak{C}$ und $\frac{h}{r} = \mathfrak{H}$ eingeführt wird, wobei $\mathfrak{C}$ den relativen Abplattungsradius, $\mathfrak{H}$ die relative Höhe der Spitze bedeutet, so ergibt sich

für den abgeplatteten Kegel: $\mathfrak{W} = \mathfrak{w}\,\frac{\mathfrak{C}^2\mathfrak{H}^2+(1-\mathfrak{C})^2}{\mathfrak{H}^2+(1-\mathfrak{C})^2}$,

für den unabgeplatteten: $\mathfrak{W} = \mathfrak{w}\cdot\frac{1}{\mathfrak{H}^2+1}$.

Für einen rotirenden Kreisbogen *(Fig. 15)*, wenn die Verlängerung von AB durch den Mittelpunkt C des Kreises geht, so dass

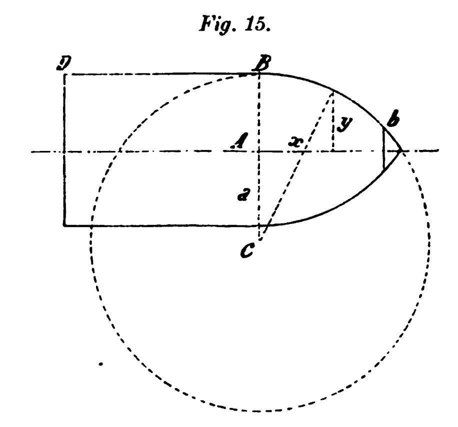


Fig. 15.

die Seite BD des cylindrischen Geschosstheiles in B tangential zum rotirenden Bogen lauft, daher der Uebergang von der Spitze zum Cylinder ein sanft vermittelter ist (ogivale Form), ist

$$x^2 + (a+y)^2 = R^2,$$

worin $a = AC$ den Abstand der Rotationsaxe vom Kreismittelpunkte, R den Radius des rotirenden Kreisbogens bezeichnet. Hieraus folgt:

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \frac{(a+y)^2}{x^2} = \frac{(a+y)^2}{R^2-(a+y)^2}, \quad 1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \frac{R^2}{R^2-(a+y)^2}.$$

Hiemit findet man den Widerstand auf die Mäntelfläche

$$W = \frac{2\mathfrak{w}\pi}{R^2}\left[\tfrac{1}{2}(R^2-a^2)(r^2-c^2) - \tfrac{2}{3}a(r^3-c^3) - \tfrac{1}{4}(r^4-c^4)\right]$$

oder $W = \frac{\mathfrak{w}\pi}{6R^2}\left[6(R^2-a^2)(r^2-c^2) - 8a(r^3-c^3) - 3(r^4-c^4)\right]$.

Um R und a durch die Höhe h der Geschosspitse auszudrücken, hat man (für den Punkt b)

$$h^2 + (a+c)^2 = R^2 \text{ und } a = R - r, \text{ daher}$$

$$h^2 + R^2 - 2(r-c)R + (r-c)^2 = R^2, \text{ woraus}$$

$$R = \frac{h^2+(r-c)^2}{2(r-c)} = \frac{1}{2}\frac{h^2}{r-c} + \frac{1}{2}(r-c)$$

$$a = R - r = \frac{1}{2}\cdot\frac{h^2}{r-c} - \frac{1}{2}(r+c)$$

$$R - a = r, \quad R + a = \frac{h^2}{r-c} - c, \quad R^2 - a^2 = \frac{rh^2}{r-c} - rc$$

und damit

$$W = \frac{\mathfrak{w}\pi}{6R^2}\left[6rh^2(r+c) - 6rc(r^2-c^2) - 4h^2(r^2+rc+c^2) + 4(r+c)(r^3-c^3) - 3(r^4-c^4)\right],$$

$$W = \frac{\mathfrak{w}\pi}{6R^2}(r-c)\left[2h^2(r+2c) + (r+c)(r-c)^2\right],$$

$$W_s = \tfrac{2}{3}\mathfrak{w}\pi\frac{(r-c)^3}{(h^2+(r-c)^2)^2}\left[2h^2(r+2c) + (r+c)(r-c)^2\right] + c^2\pi\mathfrak{w}$$

folgt.

Für $c = o$ ist $W = \frac{2}{3}w\pi\frac{r^3}{(h^2+r^2)^2}(2h^2r + r^3) = \frac{2}{3}\mathfrak{w}\pi r^4\frac{2h^2+r^2}{(h^2+r^2)^2}$

Der specifische Widerstand auf ein abgeplattetes Ogival ist

$$\mathfrak{W} = \tfrac{2}{3}\mathfrak{w}\frac{(1-\mathfrak{C})^3}{[\mathfrak{H}^2+(1-\mathfrak{C})^2]^2}\Big[2\mathfrak{H}^2(1+2\mathfrak{C})+(1+\mathfrak{C})(1-\mathfrak{C})^2\Big]+\mathfrak{C}^2\mathfrak{w},$$

auf ein unabgeptattetes: $\mathfrak{W} = \tfrac{2}{3}\mathfrak{w}\,\frac{2\mathfrak{H}^2+1}{(\mathfrak{H}^2+1)^2}$.

Geht das Ogival in die Halbkugel über, so ist $\mathfrak{H} = 1$ und somit $\mathfrak{W} = \frac{1}{2}\mathfrak{w}$, d. h. der Widerstand auf die Halbkugel ist halb so gross, wie jener auf die ebene Begrenzungsfläche.

Der specifische Widerstand auf anders geformte Geschosspitzen ergibt sich auf ähnliche Art. So findet man für ein Ellypsoid, wenn die kleine Axe der rotirenden Ellypse mit dem Ende der Geschossspitze zusammenfällt,

abgeplattet: $\mathfrak{W} = \mathfrak{w}\frac{1-\mathfrak{C}^2}{\mathfrak{H}^2+\mathfrak{C}^2-1}\Big[\frac{\mathfrak{H}^2}{\mathfrak{H}^2+\mathfrak{C}^2-1}\cdot Lg\frac{\mathfrak{H}^2}{\mathfrak{C}^2\mathfrak{H}^2+(1-\mathfrak{C}^2)^2}-1+\mathfrak{C}^2\Big]+\mathfrak{C}^2\mathfrak{w},$

unabgeplattet: $\mathfrak{W} = \mathfrak{w}\,\frac{1}{\mathfrak{H}^2-1}\Big[\frac{\mathfrak{H}^2}{\mathfrak{H}^2-1}\cdot Lg\,\mathfrak{H}^2-1\Big]$;

für ein Paraboloid,

abgeplattet: $\mathfrak{W} = \frac{1}{4}\mathfrak{w}\,\frac{(1-\mathfrak{C}^2)^2}{\mathfrak{H}^2}\cdot Lg\frac{(1-\mathfrak{C}^2)^2+4\mathfrak{H}^2}{(1-\mathfrak{C}^2)^2+4\mathfrak{C}^2\mathfrak{H}^2}+\mathfrak{C}^2\mathfrak{w},$

unabgeplattet: $\mathfrak{W} = \frac{1}{4}\mathfrak{w}\,\frac{1}{\mathfrak{H}^2}\,Lg\,(1+4\mathfrak{H}^2)$.

Wenn man die vorstehende Ableitung des Luftwiderstandes als Leitfaden für die Beurtheilung verschieden geformter Geschosspitzen annimmt, so müssen drei Factoren als auf die Grösse des Luftwiderstandes Einfluss nehmend in Berücksichtigung gezogen werden, u. zw. die Gattung der Curve, durch deren Rotation die Oberfläche der Geschosspitze entsteht (Grundform, mathematisch durch $y = f(x)$ ausgedrückt), die relative Höhe der Spitze ($\mathfrak{H}$) und die Abplattung (mathematisch durch den relativen Abplattungsradius $\mathfrak{C}$ repräsentirt). Im Nachfolgenden sollen diese drei Factoren einer kurzen Erläuterung unterzogen werden:

1.) Einfluss der relativen Höhe der Spitze. Für unabgeplattete Spitzen von conischer und ogivaler Form findet man, wenn man $\mathfrak{H}$ variiren lässt:

$\frac{\mathfrak{W}}{\mathfrak{w}}$,	für $\mathfrak{H}$ =	1	2	3	4	5
	Kegel =	0·5,	0·2,	0·1,	0·0588,	0·0385
	Ogival =	0·5,	0·24,	0·1267,	0·0761,	0·0503

Diese Reihen zeigen, dass der Widerstand bei jeder Spitzenform umso kleiner wird, je länger (schlanker) die Spitze ist, was wohl schon aus dem Gange der Ableitung erhellt. Ebenso ist natürlich, dass sich dieses Gesetz der Abnahme des Widerstandes bei Verlängerung der Spitze nicht ändert, wenn eine bestimmte (durch ein constantes $\mathfrak{C}$ charakterisirte) Abplattung angenommen wird.

2.) Einfluss der Abplattung bei gegebener relativer Höhe der Spitze. Nimmt man als Basis $\mathfrak{H} = 2$ (die Spitzenhöhe gleich dem Kaliber) an, so ergibt sich

$\frac{\mathfrak{W}}{\mathfrak{w}}$,	für $\mathfrak{C}$ =	0	0·1	0·2	0·3	0·4	0·6	0·8	1
	Kegel =	0·2,	0·1767,	0·1724,	0·1893,	0·2293,	0·3846,	0·6435,	1
	Ogival =	0·24,	0·2304,	0·2297,	0·2424,	0·2729,	0·4040,	0·6468,	1

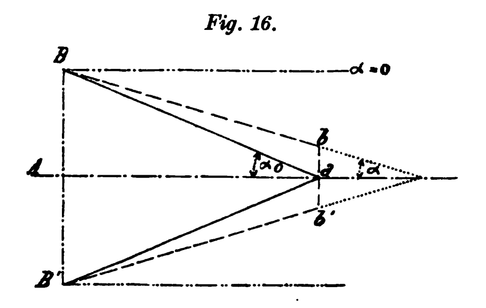
Wie ersichtlich, kommt bei unveränderlicher Spitzenhöhe der kleinste Widerstand nicht der unabgeplatteten (scharf zugespitzten), sondern einer auf bestimmte Art (hier ungefähr mit dem Radius $c = 0 \cdot 2r$* abgeplatteten Spitze zu. Um dies streng mathematisch zur allgemeinen Evidenz zu erheben, soll der specifische Widerstand in seiner Abhängigkeit von der Abplattung: $\mathfrak{W} = F(\mathfrak{C})$, bei der einfachsten Kopfform, dem Kegel, auf das Minimum untersucht werden, wobei $\mathfrak{H}$ als Constante zu gelten hat. Man findet

$$\frac{d\mathfrak{W}}{d\mathfrak{C}} = \mathfrak{w}\,\frac{2[\mathfrak{C}\mathfrak{H}^2 - (1-\mathfrak{C})]\,[\mathfrak{H}^2 + (1-\mathfrak{C})^2] + 2(1-\mathfrak{C})\,[\mathfrak{C}^2\mathfrak{H}^2 + (1-\mathfrak{C})^2]}{N^2} =$$

$$= \mathfrak{w}\,\frac{2\mathfrak{H}^2}{N^2}\left[\mathfrak{C}\mathfrak{H}^2 - (1-\mathfrak{C})^2\right] = o,$$ dies führt auf die quadratische Gleichung $\mathfrak{C}^2 - (2 + \mathfrak{H}^2)\mathfrak{C} + 1 = 0$, aus welcher $\mathfrak{C} = 1 + \frac{\mathfrak{H}^2}{2} \pm \mathfrak{H}\sqrt{1 + \frac{\mathfrak{H}^2}{4}}$ folgt; nachdem das obere Zeichen vor dem Wurzelausdruck $\mathfrak{C} > 1$ ($c > r$) ergeben würde, so kann nur $\mathfrak{C} = 1 + \frac{\mathfrak{H}^2}{2} - \mathfrak{H}\sqrt{1 + \frac{\mathfrak{H}^2}{4}}$ dem Minimum entsprechen. Dieser Ausdruck ist für alle Werthe von $\mathfrak{H}$ reell und positiv, es bedingt daher bei jeder Spitzenhöhe eine wirkliche Abplattung das Minimum des Widerstandes. Für die obige Annahme $\mathfrak{H} = 2$ würde sich $\mathfrak{C} = 0 \cdot 17157$ als relativer Abplattungsradius ergeben, bei welchem der specifische Widerstand auf den Kegel ein Minimum wird; dieser Widerstand ist $\mathfrak{W} = 0 \cdot 17157\mathfrak{w}$.

Dass durch die Abplattung der Spitze bei unverändert bleibendem Verhältnisse der Spitzenhöhe zum Kaliber der Widerstand vermindert werden kann, ist eine Folge des verschiedenartigen Einflusses, welchen eine Zunahme des Abplattungsradius auf die beiden Theile W und W' des Widerstandes ausübt. Ist in *Fig. 16 Aa* die in ihrem Verhältnisse zum Geschossradius AB unveränderliche Höhe der Geschosspitze, so wird der Widerstand auf den unabgeplatteten Kegel einen vom Winkel α_0 abhängigen Werth repräsentiren. Wenn der Winkel α abnimmt, so vermindert sich der Widerstand auf die Mantelfläche und wird für $\alpha = 0$, d. h. wenn der Kegel in den Cylinder übergeht, ebenfalls $= 0$. Diese Verminderung von α kann bei unveränderlicher Höhe nur stattfinden, wenn die Spitze abgeplattet wird, folglich vermindert die Abplattung den Widerstand W, u. zw. umsomehr, je grösser der Radius derselben ist. Andererseits wächst der Widerstand $W' = c^2\pi\mathfrak{w}$ im quadratischen Verhältnisse mit dem Radius der Abplattung. Ist nun der Einfluss der Abplattung auf W grösser als auf W', so wird der Gesammtwiderstand W_s abnehmen; im Gegenfalle, wenn nämlich der Einfluss der Abplattung auf W' überwiegt, wird W_s

Fig. 16.



* Für das Elliypsoid und das Paraboloid ergibt sich Aehnliches.

zunehmen. Soll zwischen den beiden Grenzwerthen von W_s (für $\mathfrak{C} = 0$ und $\mathfrak{C} = 1$) dieses durch ein Minimum hindurchgehen, so muss es zuerst ab-, dann zunehmen, d. h. es muss der Einfluss der Abplattung zuerst auf W stärker sein als auf W', der erstere muss abnehmen, der letztere zunehmen; dort, wo sie gleich sind, findet das Minimum von W_s statt, darüber hinaus muss der Einfluss auf W' überwiegen. Diese Verhältnisse finden auch in der That statt, wie eine Betrachtung des Kegels zeigt: beim Auseinanderrücken der Seiten Bb und $B'b'$ nimmt der Winkel a anfangs stark, dann immer weniger ab, während die dadurch entstehende Kreisfläche $b(a)b'$ anfangs klein ist, aber sehr rasch zunimmt.

3.) Einfluss der Gattung der Begrenzungscurve (Grundform). Man findet den specifischen Widerstand für verschieden gestaltete Geschosspitzen ohne Abplattung bei einer relativen Spitzenhöhe

	von $\mathfrak{H} =$	1	2	3
$\frac{\mathfrak{W}}{\mathfrak{w}}$,	Kegel	$= 0 \cdot 5$,	$0 \cdot 2$,	$0 \cdot 1$,
	Ogival	$= 0 \cdot 5$,	$0 \cdot 24$.	$0 \cdot 1267$,
	Ellypsoid	$= 0 \cdot 5$,	$0 \cdot 2828$,	$0 \cdot 1840$,
	Paraboloid	$= 0 \cdot 4025$,	$0 \cdot 1771$,	$0 \cdot 1003$.

Hieraus ersieht man, dass parabolische und conische Geschosspitzen einen kleineren, ellyptische aber einen grösseren Widerstand erleiden als ogivale.

Fasst man das in der vorstehenden Erläuterung Angeführte zusammen, so ergeben sich für die Frage nach der günstigsten Form der Geschosspitze folgende Anhaltspunkte: Der Widerstand ist im Allgemeinen umso geringer, je länger die Geschosspitze ist. Bei gegebener relativer Höhe der Geschosspitze kann, wenn eine bestimmte Begrenzungscurve für die Rotationsfläche zu Grunde gelegt wird, durch Rechnung diejenige Abplattung gefunden werden, welche ein Minimum des Widerstandes bedingt; dieses Minimum ist aber nur ein relatives, daher die dasselbe bedingende Spitzenform nur die relativ günstigste, d. h. nur insoweit die günstigste, als die Anwendung anders gestalteter Spitzen ausgeschlossen wird. Nachdem jedoch verschiedenen Begrenzungscurven auch verschiedene Minima des Widerstandes entsprechen, so kann die (absolut) günstigste Spitzenform nur diejenige genannt werden, deren Oberfläche durch Rotation einer Curve entsteht, die unter allen möglichen Curven das kleinste Minimum des Luftwiderstandes bedingt. Die Frage nach der absolut günstigsten Form der Geschosspitze beschränkt sich demnach nicht auf die specielle Construction einer bestimmten Curvengattung (wie dies bei der relativ günstigsten Form der Fall ist), sondern sie geht auf die zu wählende Gattung der Curve selbst. Mathematisch ausgedrückt: Bei Ermittlung der relativ günstigsten Form der Spitze wird die allgemeine Form der Gleichung $x = f(y)$ der rotirenden Curve

als Basis angenommen und es werden die in dieser **Function** vorkommenden constanten Grössen der Forderung gemäss bestimmt, dass $\mathfrak{W}$ ein Minimum werde: bei Ermittlung der absolut günstigsten Spitzenform aber steht in erster Linie die Form der Function $y = f(x)$ selbst in Frage und muss der Bedingung gemäss gefunden werden, dass $W' = 2\mathfrak{w}\pi \int_c^r \frac{y\,dy}{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}$ ein Minimum sei.

Die Lösung dieses Problems führt auf die Curve des kleinsten Widerstandes.* Die Kenntniss derselben hat jedoch nur ein theoretisches Interesse, denn die Herleitung dieser Curve basirt auf dem nicht unanfechtbar feststehenden quadratischen Luftwiderstandsgesetze und auf der Annahme des beständigen Zusammenfallens der Geschossaxe mit der Bewegungsrichtung, so dass es fraglich ist, ob bei Berücksichtigung aller den Luftwiderstand beeinflussenden Factoren und bei verschiedenen Lagen der Geschossaxe gegen die Bewegungsrichtung die durch diese Curve begrenzte Fläche bedeutend günstiger ist, als andere Formen.** Ueberdies verläuft diese Fläche nicht glatt in den cylindrischen Hintertheil des Geschosses, d. h. es bildet die Seite des Cylinders nicht eine Tangente an die Begrenzungscurve des Kopfes, wodurch das Abfliessen der Luft längs des Geschosses eine Störung erleidet. Nachdem dieser letztere Umstand bei den Formen Kegel und Paraboloid, welche bezüglich des Luftwiderstandes theoretisch als die zunächst günstigsten erscheinen, ebenfalls stattfindet, so wird die Geschosspitze in der Regel als **Ogival** construirt. Auch wird die Spitze gewöhnlich nicht abgeplattet,*** obwol

---

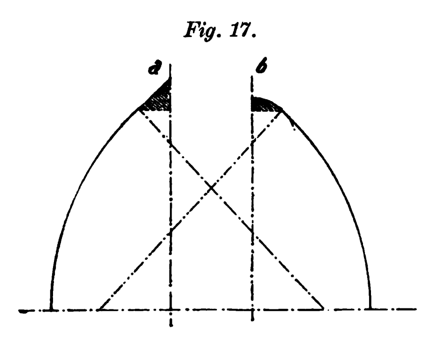
* Hiebei kommt der sogenannte Variationscalcul zur Anwendung. Nachdem derselbe über die Grenzen dieses Buches hinausgeht, nachdem ferner die Curve des kleinsten Widerstandes (wie im Text weiter ausgeführt) von keiner praktischen Wichtigkeit ist, so mag die obige Andeutung über die mathematische Bedeutung des Problems genügen, ohne dass auf die Lösung selbst eingegangen wird.

** In der That haben Versuche gezeigt, dass für die Grösse des Luftwiderstandes die Form der Geschosspitze von weitaus geringerer Bedeutung ist, als dies nach der vorstehend entwickelten Theorie der Fall sein sollte; diese Form wird immer gleichgiltiger, je grösser die Geschwindigkeit des Geschosses wird.

*** Dort, wo eine Abplattung vorkommt, wie bei den mit Zündern versehenen Geschossen (Zündergranaten und Schrapnels), ist sie keine beabsichtigte, sondern ergibt sich von selbst durch das ausgestossene Mundloch. Die Geschosse mit einer sehr bedeutenden Abplattung, deren Durchmesser wenig von dem Kaliber verschieden ist, die sogenannten Stempelgeschosse von Whitworth, sind

bei Festhaltung einer bestimmten Höhe des Geschosskopfes eine kleine Abplattung (wie nachgewiesen) für den Luftwiderstand vortheilhaft erscheint. Häufig wird das Ogival nicht ganz bis zur Spitze fortgesetzt, sondern durch einen aufgesetzten Conus (*Fig. 16, a)* oder eine Kugelhaube *(Fig. 17, b)*, vervollständigt. Ausser der ogivalen Kopfform kommen noch halbkugelförmige und conische Geschossspitzen sowie ganz cylindrische Geschosse* vereinzelt vor.

Fig. 17.



Der Hintertheil des Geschosses ist in der Regel (abgesehen von dem Führungsmittel) vollständig cylindrisch; eine conische Verjüngung am Boden ist zwar für die Verminderung der Luftverdünnung hinter dem Geschoss und für das leichtere Eindringen in feste Medien von Vortheil, hat aber andererseits den Nachtheil, dass das Geschoss im Rohre dem Pulvergas eine kleinere ebene Fläche zum Angriff darbietet.

II. Bedingungen der Treffsicherheit und Mittel zur Erzielung derselben.

Die Treffsicherheit erfordert, dass bei den unter denselben Umständen abgegebenen Schüssen sowol die Geschosse das Rohr in derselben Richtung verlassen, als auch, dass die Einflüsse, welche das Geschoss ausserhalb des Rohres von seiner Abgangsrichtung abziehen, in möglichst gleichmässiger und bestimmter Weise auftreten.

Die Abgangsrichtung des Geschosses ist durch die Stellung des Geschützrohres im Abgangsmomente vorgezeichnet; es kann aber nur dann ganz sicher darauf gerechnet werden, dass das Geschoss das

---

eigentlich als cylindrische Geschosse mit einer schwachen Verjüngung am Vordertheile zu betrachten, welcher eine gleiche Verjüngung am Hintertheile entspricht.

* Diese Geschossform ist für die Ueberwindung des Luftwiderstandes allerdings ungünstig, bietet aber bei Panzergeschossen den Vortheil, dass diese beim schrägen Feuer nicht so leicht von der Panzerplatte abprallen, wie die Geschosse mit abgerundeten Spitzen (siehe fünfter Abschnitt).

Rohr in dieser Richtung wirklich verlassen wird, wenn die Längenaxe desselben während der ganzen Bewegung im Rohre mit der Rohraxe zusammenfällt, d. h. wenn das Geschoss genau centrirt ist. Dies wird, Geschoss und Bohrung conform und symmetrisch vorausgesetzt, nur dann möglichst vollkommen erzielt, wenn das Geschoss von den Bohrungswänden beständig dicht umschlossen bleibt (wenn kein Spielraum vorhanden ist), da sonst das Geschoss eine schwankende, springende Bewegung im Rohre annimmt, was eine im Allgemeinen uncontrolirbare Abweichung seiner Abgangsrichtung von der Richtung der Rohraxe zur Folge hat.

Ausserhalb des Rohres ist das Geschoss der Einwirkung der Schwerkraft und des Luftwiderstandes unterworfen, welche beiden Kräfte die lebendige Kraft (Triebkraft) des Geschosses beständig modificiren und das Geschoss aus seiner Abgangsrichtung ablenken. So lange die Angriffspunkte dieser Kräfte mit dem Angriffspunkte der Triebkraft zusammenfallen, wird die durch dieselben herbeigeführte Ablenkung des Geschosses aus der Abgangsrichtung in der einfachsten Weise vor sich gehen: durch die Schwerkraft wird das Geschoss continuirlich nach abwärts gezogen, so dass es, anstatt einer geradlinigen, eine nach abwärts gekrümmte Bahn beschreibt, — durch den Luftwiderstand wird nur die Geschwindigkeit des Geschosses vermindert und die Bahn derart modificirt, dass sie eine andere, von der Grösse des Luftwiderstandes abhängige Krümmung erhält, ohne dass die Geschossaxe aus der Verticalebene (Schussebene) tritt. Fallen jedoch die Angriffspunkte der drei Kräfte nicht überein, so entstehen Drehmomente, welche sowol eine weitere Modification der Bahnkrümmung bewirken, als auch das Geschoss aus der Schussebene drängen können.

Die Triebkraft des Geschosses kann man sich im Geschossschwerpunkte vereinigt denken; nachdem dieser Punkt ebenfalls der Angriffspunkt der Schwerkraft ist, so kann (abgesehen von einer etwaigen, bei der Bewegung des Geschosses im Rohre erzeugten Drehung) ausserhalb des Rohres nur der Luftwiderstand zum Auftreten von Drehmomenten Anlass geben, im Falle die Resultante des Luftwiderstandes in ihrer Verlängerung nicht auf den Geschossschwerpunkt trifft.

Dass in der durch Drehmomente complicirten Bewegungsweise des Geschosses im Allgemeinen mehr Veranlassungen zu Unregelmässigkeiten in den Flugbahnen der in einer und derselben Richtung

abgehenden Geschosse und in ihrem Auftreffen am Ziele liegen müssen, ist wohl begreiflich.*

Unter Umständen kann jedoch das Auftreten eines Drehmomentes von Vortheil sein, wie die nachstehende Erwägung zeigt. Ist *AB (Fig. 18)* die Abgangsrichtung eines Langgeschosses, so wird sich dasselbe infolge der Wirkung der Schwerkraft immer mehr unter diese Linie senken, daher sich in einem bestimmten Zeitmomente nicht in a', sondern in a befinden; durch diese Senkung wird sich die Richtung seiner Längenaxe mn nicht ändern, hingegen wird die Bewegungsrichtung, die Tangente pq an die Flugbahncurve, eine andere werden, u. zw. wird diese um so mehr von mn abweichen, je weiter das Geschoss sich von A entfernt. Infolge dessen wird das Geschoss immer mehr seine Langseite nach vorwärts kehren, daher nicht nur einen sich stets steigernden Luftwiderstand erleiden, sondern auch in schiefer Lage gegen das Zielobject aufschlagen, daher schwerer in dieses eindringen. Tritt jedoch ein Drehmoment auf, welches die Geschossaxe mn gegen die Bewegungsrichtung zu herunter dreht, so dass sie während des ganzen Fluges nur wenig von der Bahntangente pq abweicht, so wird der Luftwiderstand auf das Geschoss vermindert und es wird dieses mit der Spitze auf das Ziel treffen. Hingegen wäre ein Drehmoment, durch welches der Vordertheil der Geschossaxe von vorne gegen rückwärts gedreht wird, sehr nachtheilig, nachdem dieses die Geschossaxe noch schiefer gegen die Bahn stellt oder wol gar das Geschoss gänzlich zum Ueberschlagen bringt.

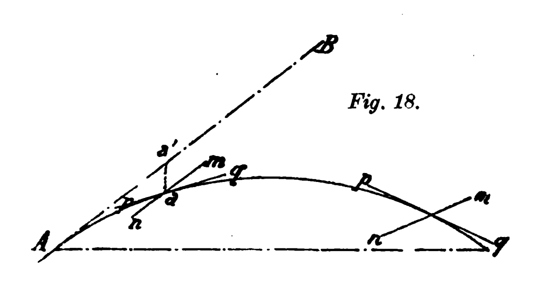


Fig. 18.

Zur Orientirung über die Verhältnisse, unter welchen Drehkräfte überhaupt auftreten, sowie welchen Einfluss dieselben auf die Geschossbahn ausüben, soll eine allgemeine Betrachtung über den Verlauf der Geschossbewegung angestellt werden; hiebei werden sich auch

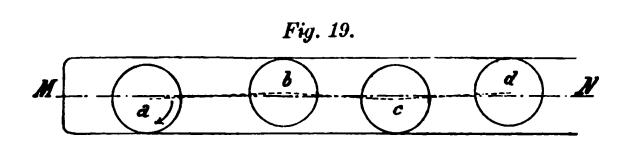
* Die eigentlichen Ursachen dieser Unregelmässigkeiten sind, so weit sie von der Geschosseinrichtung abhängen, in den praktisch unvermeidlichen Fehlern bei der Geschosserzeugung zu suchen, wodurch kleine Verschiedenheiten in der Form, in den Dimensionen, im Gewichte und in der Schwerpunktslage der Geschosse entstehen.

die Mittel ergeben, welche angewendet werden müssen, um schädliche Drehmomente zu vermeiden und vortheilhafte hervorzurufen. Zur Vereinfachung dieser Betrachtung soll der Luftwiderstand als eine active, auf das Geschoss von vorne einwirkende Stosskraft betrachtet, d. h. die Sache so angesehen werden, als ob das Geschoss sich in Ruhe befände und die Luft sich gegen dasselbe bewegen würde. Ebenso sollen die beiden Geschossformen: sphärische Geschosse (Rundgeschosse) und cylindrische Geschosse (Langgeschosse) abgesondert betrachtet werden.

a) Rundgeschosse. Angenommen, das Rundgeschoss sei eine homogene Kugel, deren Schwerpunkt mit dem Mittelpunkt genau zusammenfällt, so wird dieses Geschoss, welche Seite immer es nach vorne wenden mag, eine gleich grosse Oberfläche dem Luftwiderstande darbieten, daher wird dieser unter allen Umständen unverändert bleiben. Wenn ein solches Rundgeschoss die Bewegung im Rohre vollkommen centrirt (ohne Spielraum) zurücklegen, daher in der durch die Rohraxe vorgezeichneten Richtung ohne irgend welche Drehung aus der Mündung treten würde, so würde die Resultante des Luftwiderstandes während des ganzen Fluges auf den Geschosschwerpunkt treffen, und es könnte der Luftwiderstand weder zu einer Drehung des Geschosses noch zu einer Unregelmässigkeit der Flugbewegung Anlass geben.

Nun ist aber das Rundgeschoss in der Regel ein Spielraumgeschoss; infolge dessen fällt der Schwerpunkt *a (Fig. 19)* eines vollkommen symmetrischen (concentrischen) Geschosses vor Beginn der Bewegung im Rohre unter die Rohraxe *MN*.. Beim Auftreten des Gasdruckes wird das Geschoss durch

Fig. 19.



das über demselben (beim Spielraum) vorbeistreichende Gas gegen die untere Bohrungswand gedrückt; die Repulsion der Rohrwand schnellt das Geschoss gegen aufwärts, bis es an die obere Bohrungswand anschlägt, von dieser wieder nach abwärts geworfen wird etc. Der Schwerpunkt beschreibt demnach den Weg *abcd*....; das Geschoss verlässt das Rohr unter einem grösseren, als dem durch die Richtung der Rohraxe vorgezeichneten Winkel, wenn der letzte Auf-

schlag an der unteren, und unter einem kleineren Winkel, wenn der letzte Aufschlag an der oberen Bohrungswand erfolgt.

Ueberdies erhält das Geschoss im Rohre eine Drehung um eine zur verticalen Schussebene senkrechte (horizontale) Axe, u. zw. wird das in der Stellung *a* befindliche Geschoss, da die untere Geschosshälfte infolge der durch das Geschossgewicht und den Druck des über dem Geschoss streichenden Gases erzeugten Reibung schwerer beweglich ist als die obere, eine Drehung von vorne gegen unten annehmen. Im Punkte *b* entsteht infolge der durch das Anschlagen des Geschosses verursachten plötzlichen Hemmung der oberen Geschosshälfte und den Druck des jetzt unterhalb entweichenden Gases ein Impuls zur Drehung des Geschosses in entgegengesetzter Richtung von vorne gegen oben; diese Drehung wird aber in der Regel nicht zur Ausführung gelangen, da erst die im Punkte *a* angenommene entgegengesetzte aufgehoben werden müsste, und da hier das Geschossgewicht dem Drehimpuls nachtheilig wirkt. Es wird demnach in *b* nur eine Ermässigung der im Punkte *a* erlangten Drehung eintreten. Im Punkte *c*, und so bei jedesmaligem Anschlagen an der untern Bohrungswand, wird das Geschoss einen neuen Drehimpuls im Sinne der in *a* angenommenen Drehung, daher eine Beschleunigung der ursprünglichen Drehbewegung, — im Punkte *d* aber, und bei jedesmaligem Anschlagen an der oberen Bohrungswand, einen entgegengesetzten Drehimpuls, daher eine Verzögerung der ursprünglichen Drehung erfahren: das Geschoss wird demnach das Rohr mit einer Drehung von vorne gegen unten verlassen, welche Drehung es während des ganzen Fluges behält.

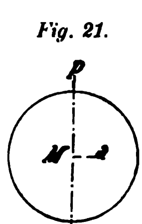
Ist das Geschoss excentrisch, d. h. fällt sein Schwerpunkt nicht mit seinem Mittelpunkte zusammen, und wird dasselbe derart geladen, dass die Verbindungslinie des Schwerpunktes und des Mittelpunktes in die Verticalebene, der Schwerpunkt aber unter den Mittelpunkt fällt, so wird im Punkte *a* der Impuls zur Drehung von vorne gegen unten nur noch stärker werden, daher dieses Geschoss das Rohr mit schnellerer Drehung von vorne gegen unten verlassen. Wird hingegen das excentrische Geschoss mit dem Schwerpunkt *a* *(Fig. 20)* genau über dem Mittelpunkt *a'* geladen, und ist die Excentrität so gross, dass *a* noch beträchtlich oberhalb der Rohraxe fällt, so wird das Geschoss schon in *a* eine Drehung von vorne gegen oben erhalten, und da

Fig. 20.

diese Drehung mindestens bei jedem Anschlagen an der oberen Bohrungswand neue Impulse erhält, mit derselben das Rohr verlassen.

Das Geschoss kann sich ferner im Rohre derart lagern, dass sein Mittelpunkt und, im Falle es concentrisch, auch sein Schwerpunkt *a (Fig. 21)* nicht in die Schussebene *MP*, sondern nach rechts oder links ausserhalb derselben fällt. Dann wird dasselbe auch in transversaler Richtung von einer Bohrungswand zur andern geworfen, daher auch seitlich in einer von der Rohraxe verschiedenen Richtung das Rohr verlassen; ebenso muss es eine Drehung um eine zur Schussebene parallele Axe (von vorne gegen rechts oder gegen links) annehmen.*

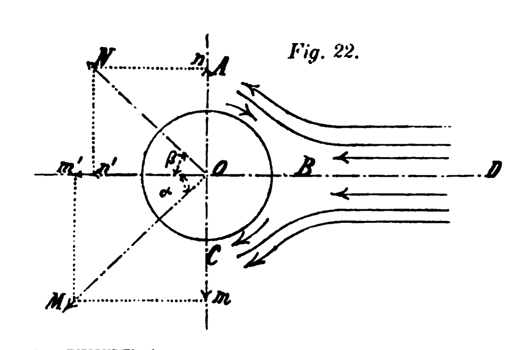
Fig. 21.



Resumirt man das Vorstehende, so ergibt sich: das Spielraum-Rundgeschoss verlässt das Rohr in einer andern, als der durch die Rohraxe vorgezeichneten Richtung und rotirt während seiner Bewegung in der Luft. Es muss demnach das Verhalten des rotirenden Rundgeschosses bei der Einwirkung des Luftwiderstandes (oder in einem gegen dasselbe sich bewegenden Luftstrome) ins Auge gefasst werden.

Das Geschoss reisst vermöge der Adhäsion eine Luftschichte mit sich, welche als Atmosphäre des Geschosses an allen Bewegungen desselben Theil nimmt, also auch mit ihm rotirt. Bewegt sich nun gegen ein Geschoss, welches mit seiner Atmosphäre *ABC* *(Fig. 22)* von *A* über *B* gegen *C* rotirt, ein Luftstrom in der Richtung *DB*, so wird beim Abströmen um das Geschoss hin diese Luft sich in dem Theile *BC* in demselben, in dem Theile *AB* aber im entgegengesetzten Sinne wie

Fig. 22.



* Allerdings kann diese Drehung niemals für sich allein auftreten, da das Geschoss nie ganz an der einen oder der anderen Seitenwand anliegen kann, sondern vermöge seines Gewichtes auch stets mit seinem Mittelpunkte unter die Rohraxe fallen muss; es wird daher auch stets ein Impuls zur Drehung um die Queraxe sich ergeben. Die wirkliche Drehaxe wird demnach eine aus beiden Drehimpulsen combinirte Mittellage haben.

die Geschossatmosphäre bewegen; hiedurch wird das Abströmen im ersteren Theile begünstigt und beschleunigt, im letzteren aber gestört und verzögert, so dass im Theile BC eine Verdünnung, im Theile AB eine Verdichtung der Luft entsteht. Infolge des grösseren Druckes, welchen die verdichtete Luft auf das Geschoss ausübt, wird dasselbe in der Richtung von A gegen C aus seiner Lage gedrängt und weicht demnach in der Richtung der Luftverdünnung, d. h. nach jener Seite von seiner normalen Bahn ab, gegen welche die Rotation von vorne aus erfolgt.

Bezeichnet OM die Resultante des Luftdruckes auf AB, wenn der Druckkraft eine im Geschosschwerpunkte O angreifende Zugkraft substituirt wird, und NO die der Resultante des Druckes auf BC entsprechende Zugkraft, so können die Winkel α und β, welche diese Kräfte mit der Bewegungsrichtung einschliessen, als gleich angesehen werden. Zerlegt man jede der beiden Kräfte in zwei Componenten: $Om = OM \sin\alpha$, $Om' = OM \cos\alpha$ und $On = ON \sin\beta$, $On' = ON \cos\beta$, so summiren sich die beiden, in demselben Sinne wirkenden Componenten Om' und On' und geben den in die Bewegungsrichtung fallenden, daher die fortschreitende Geschossbewegung verzögernden Luftwiderstand; Om und On wirken im entgegengesetzten Sinne, und nachdem $OM > ON$, daher auch $Om > On$ ist, so wird der Geschosschwerpunkt gegen C gezogen.

Die Richtung der Abweichung des Geschosses von der Normalbahn hängt in jedem speciellen Falle von der Lage der Rotationsaxe und der Richtung der Drehung ab, u. zw.:

1.) *Rotationsaxe senkrecht zur Schussebene.* Rotation von vorne gegen unten: das Geschoss weicht von der Normalbahn nach unten ab und erreicht, ohne aus der Schussebene zu treten, eine kürzere Schussweite, als dies ohne Rotation der Fall wäre;

Rotation von vorne gegen oben: das Geschoss weicht von der Normalbahn nach oben ab und erreicht eine grössere Schussweite.

2.) *Rotationsaxe in der Schussebene und senkrecht zur Bewegungsrichtung.* Rotation von vorne gegen rechts: das Geschoss weicht nach rechts von der Normalbahn ab, tritt daher in dieser Richtung aus der Schussebene;

Rotation von vorne gegen links: das Geschoss weicht nach links ab.

3.) *Rotationsaxe in der Schussebene mit der Bewegungsrichtung zusammenfallend.** Rotation von oben gegen rechts: die in

* Obwol diese Rotation bei Rundgeschossen kaum vorkommen dürfte, so wird sie hier der Vollständigkeit wegen dennoch in Betracht gezogen.

einer zur entgegenströmenden Luft senkrechten Richtung erfolgende Rotation bringt keine einseitige Störung des Abfliessens der ersteren, daher keine Abweichung des Geschosses hervor;

Rotation von oben gegen links: ebenso keine Abweichung des Geschosses.

Nachdem die Bewegungsrichtung infolge der Senkung des Geschosses eine stetige Aenderung erfährt, so können die unter 2.) und 3.) angeführten Axlagen nicht als während der ganzen Bahn unabänderlich gelten, sondern sie gehen, im Falle sie beim Verlassen des Rohres vorhanden waren, während des Fluges in schiefe Axlagen über. Bezeichnet man den Winkel, welchen die Rotationsaxe in der Schussebene mit der Bewegungsrichtung einschliesst, mit φ, so ist für die Axlage 2.) $\varphi = 90^\circ$, für die Axlage 3.) $\varphi = 0$; da dieser Winkel in beiden Fällen mit dem Fortschreiten des Geschosses in der Bahn in demselben Sinne zunimmt, so kann φ im Allgemeinen alle Werthe von 0 bis 180 annehmen, wodurch die Richtung der Geschossabweichung modificirt wird. Ausser diesen während der Geschossbewegung in der Luft selbst sich ergebenden, durch Combination von 2). und 3.) entstehenden Mittellagen der Rotationsaxe können sich (wie vorhin angemerkt) auch schon im Rohre Axlagen ergeben, welche aus einer Combination von 1.) und 2.), eventuell auch aus 1.) und 3.) entstehen; die dadurch hervorgerufenen Modificationen der oben schematisch dargestellten Geschossabweichung bestehen darin, dass das Geschoss gleichzeitig sowol vertical als transversal aus der Normalbahn tritt. Ohne hier auf diese Modificationen näher einzugehen, soll nur die Geschossabweichung betrachtet werden, welche sich bei der ursprünglichen Axlage 3.) infolge der Veränderung derselben während des Fluges ergibt. Die Bewegungsrichtung weicht während des Fluges immer mehr nach unten zu von dem Vordertheile der Rotationsaxe ab, daher wird das Geschoss von der entgegenströmenden Luft immer mehr von unten in Bezug auf die Rotationsaxe getroffen. Rotirt das Geschoss von oben gegen rechts (Rechtsrotation), so entsteht die Luftverdichtung auf der rechten unteren Seite und das Geschoss muss nach links oben zu aus der Normalbahn gedrängt werden; rotirt hingegen das Geschoss von oben gegen links (Linksrotation), so entsteht die Luftverdichtung auf der linken unteren Seite und das Geschoss wird nach rechts oben abgedrängt. Verlässt daher ein Geschoss das Rohr mit Rotation um eine Axe, welche mit der Abgangsrichtung zusammenfällt, so weicht es während des Fluges infolge der durch diese Rotation erzeugten ungleichen Vertheilung des Luftdruckes rechts rotirend nach links oben und links rotirend nach rechts oben ab.*

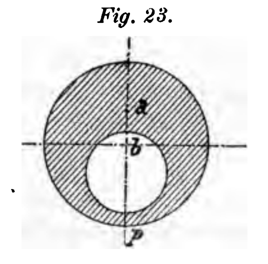
Die Abgangsrichtung des Geschosses, die anfängliche Lage der Rotationsaxe, sowie die Richtung und Geschwindigkeit der Rotation,

---

* Dies ist von der Form des Geschosses unabhängig, gilt daher sowol für Rund- als für Langgeschosse. Bekanntlich weichen aber die rotirenden Langgeschosse in der Regel im Sinne der Rotation, nämlich rechts rotirend nach rechts, links rotirend nach links ab; die Ursachen, welche die oben angegebene seitliche Abweichung in ihr Gegentheil verwandeln, werden bei Betrachtung der Bewegung dieser Geschosse auseinandergesetzt werden.

daher auch die Richtung und Grösse der Abweichung des Geschosses von der Normalbahn, ist von der Lage des Geschoss-Schwerpunktes, von der Grösse des Spielraumes und der Lagerung des Geschosses im Geschossraume abhängig — so sehr, dass ganz geringe Unterschiede im Geschossdurchmesser, in der gleichmässigen Dichte des Geschossmaterials, kurz in der genauen Erzeugung der Geschosse, sowie Unregelmässigkeiten in der Lagerung des Geschosses in der Bohrung schon bedeutende Verschiedenheiten in der Rotation und Abweichung des Geschosses herbeiführen können. Die Spielraum-Rundgeschosse haben sonach eine ziemlich unregelmässige Flugbewgung und eine geringe Treffsicherheit. Um diese Unregelmässigkeit einigermassen auszugleichen, wurde die Erzeugung einer ganz bestimmten Rotation angestrebt, u. zw., um Seitenabweichungen auszuschliessen, einer Rotation um die horizontale Queraxe entweder von vorne gegen oben oder gegen unten, je nachdem man möglichst flache oder möglichst gekrümmte Flugbahnen zu erhalten wünschte. Zu diesem Zwecke wurden stark excentrische Geschosse construirt und in der Bohrung derart gelagert, dass der Schwerpunkt genau in die Schussebene oberhalb oder unterhalb der Rohraxe fällt; eine solche Excentricität ergibt sich auf einfache Weise bei Granaten, deren Aushöhlung excentrisch angeordnet ist *(Fig. 23)*, (excentrische Granaten).

Fig. 23.



Um bei excentrischen Geschossen die Schweraxe (Verbindungslinie des Schwerpunktes *a* mit dem Geschossmittelpunkte *b*) genau zu finden, wurden sie in ein Quecksilberbad gebracht, wobei sie sich von selbst mit dem Schwerpunkte nach abwärts lagerten; der oberste Punkt (der Pol *P* der Schweraxe) wurde bezeichnet: dies nannte man das Polen der excentrischen Granaten. In das Rohr mussten die Geschosse genau mit dem Pol nach unten oder nach oben eingeführt werden.

b) Langgeschosse. Bei diesen Geschossen kann, selbst wenn sie einen Spielraum in der Bohrung haben, der Stoss des Gases keine Rotation erzeugen; wol aber werden die Spielraumgeschosse springend durch die Bohrung gehen, an die Bohrungswände mehrmals anschlagen, daher die Bohrung im Allgemeinen nicht in der durch die Rohraxe vorgezeichneten Richtung verlassen, wie dies bei den Geschossen ohne Spielraum der Fall ist. Diese letzteren werden demnach im Allgemeinen eine grössere Treffsicherheit haben als die Spielraumgeschosse.

Während des Fluges wird die Geschossaxe, welche anfänglich mit der Bahntangente zusammenfällt (wie schon oben ausgeführt), immer mehr mit dem Vordertheil nach oben von der Bahntangente abweichen: wenn während der ganzen Flugbewegung die verlängerte Resultante des Luftwidertandes beständig auf den Geschosschwerpunkt treffen würde, so würde das Geschoss mit unveränderter Lage seiner Axe die Bewegung vollenden. Trifft jedoch die verlängerte Resultante die Geschossaxe nicht im Schwerpunkte, so wird die Axe nach abwärts (gegen die Bahntangente) oder nach aufwärts (von der Bahntangente weg) gedreht, je nachdem der Angriffspunkt des Luftwiderstandes hinter oder vor den Schwerpunkt fällt.

1.) *Angriffspunkt des Luftwiderstandes hinter dem Schwerpunkte.* Bezeichnet *SB* (*Fig. 24*) die Bahntangente (Bewegungsrichtung), *SA* den Vordertheil der Axe des Geschosses in irgend einem Momente seiner Bewegung, denkt man sich ferner das Geschoss im Schwerpunkte *S* festgehalten und gegen dasselbe einen Luftstrom in der Richtung *BS* geführt, dessen Resultante die Geschossaxe im Punkte *L* trifft, so würde das Geschoss eine pendelnde Drehbewegung um eine durch den Schwerpunkt *S* gedachte Queraxe annehmen; die Mittellage dieser Pendelung wäre die Bahntangente *SB*, d. h. die Geschossaxe würde nach unten zu um denselben Winkel α ausschlagen, um welchen dieselbe bei Beginn der Pendelung nach oben hin von der Bahntangente abweicht.

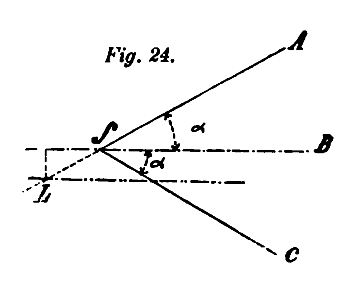


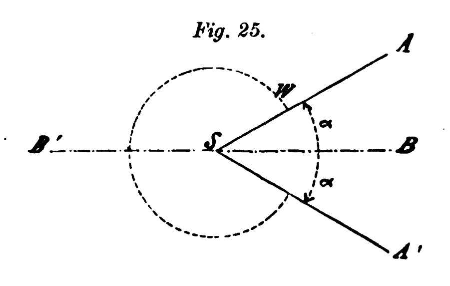
Fig. 24.

Diese regelmässige Pendeluug der Geschossaxe um die Bahntangente als Mittellage wird aber während des Geschossfluges nicht zum Ausdruck gelangen, nachdem die Bahntangente *SB* immer mehr nach abwärts ausweicht, daher die Geschossaxe immer grössere Wege in der Abwärtsdrehung zurücklegen muss, um sie zu erreichen. Ob die Geschossaxe die Bahntangente jemals erreicht, eventuell sie überholt, hängt von der Geschwindigkeit ab, mit welcher sich beide gegen abwärts drehen: während die Schnelligkeit, mit welcher die Bahntangente nach abwärts ausweicht, eine durch die fortschreitende Geschwindigkeit des Geschosses und durch die Senkung desselben infolge der Schwerkraft bedingte, also von der Geschossconstruction unabhängige ist, hängt die Geschwindigkeit der Abwärtsdrehung der

Geschossaxe im Wesentlichen (den Geschosswiderstand constant vorausgesetzt) von der Entfernung des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vom Geschosschwerpunkte ab. Ist diese zu klein, so dass sich die Geschossaxe nur langsam nach abwärts dreht, so wird sie die Bahntangente niemals erreichen und es wird die schädliche schiefe Lage der Geschossaxe gegen die Bewegungsrichtung nur wenig vermindert. Bei genügend grosser Entfernung der beiden mehrerwähnten Punkte hingegen wird die Geschossaxe die Bahntangente erreichen und sogar überholen, d. h. unter dieselbe gelangen; da aber alsdann sofort eine Verzögerung der Abwärtsdrehung der Geschossaxe eintritt, während sich die Bahntangente mit stets beschleunigter* Schnelligkeit senkt, so wird der Ausschlag der Geschossaxe unter die Bahntangente ein sehr geringer sein. Erwägt man, dass dieses Spiel der Abwärtssenkung der Geschossaxe und der Bahntangente sofort nach dem Verlassen des Rohres, wo beide Linien zusammenfallen, beginnt, so kommt man zum Schluss, dass bei genügend grosser Entfernung des Geschosschwerpunktes und des Angriffspunktes des Luftwiderstandes sich die Geschossaxe während des ganzen Geschossfluges nicht weit, weder nach auf- noch nach abwärts, von der Bahntangente entfernen kann, wodurch die Bewegung des Geschosses mit der Spitze voraus gesichert ist: dies wird Stabilität der Geschossaxe genannt. Um also eine genügende Stabilität der Geschossaxe zu erreichen, müsste das Geschoss so eingerichtet werden, dass der Angriffspunkt des Luftwiderstandes genügend weit hinter den Geschosschwerpunkt fällt, d. h. es müsste der Geschosschwerpunkt sehr weit nach vorne in der Geschossaxe verlegt werden. Auf diese Art construirte Geschosse werden Pfeilgeschosse genannt.

2.) *Angriffspunkt des Luftwiderstandes **vor** dem Schwerpunkte.* Stellt man sich wieder das Geschoss im Schwerpunkte S *(Fig. 25)* festgehalten vor und einen Luftstrom in der Richtung BS auf dasselbe wirkend, wobei die Resultante des Stromes die Geschossaxe in W trifft, so würde die Geschossaxe in der Richtung

Fig. 25.



* Diese Beschleunigung ist eine Folge der Beschleunigung der Schwere.

AB um diejenige Richtung als Mittellage pendeln, für welche das Moment der Drehkraft $= 0$ ist. Diese Richtung wäre, wenn man den Luftwiderstand und die Entfernung *WS* als constant annimmt, *SB'* (wo $\alpha = 180^0$ ist) und die Pendelung würde bis zur Axlage *SA'* gehen, daher den Bogen von $360 - 2\alpha$ umfassen. Nachdem aber in der Wirklichkeit die Bahntangente *SB* nicht eine unabänderliche Richtung behält, sondern sich mit beschleunigter Schnelligkeit nach abwärts, der Geschossaxe entgegen, dreht, so wird eine Rückdrehung nicht eintreten, sondern es wird das Geschoss um eine in *S* gedachte Queraxe in der Richtung von oben gegen rückwärts rotiren. Ob diese Drehung oder eine Pendelung* des Geschosses erfolgt, auf jeden Fall wird das Geschoss während des Fluges stets verschiedene und ungünstigere Flächen als seine Spitze dem Luftwiderstande darbieten, daher mehr von seiner Geschwindigkeit einbüssen und nicht mit der Spitze auf das Ziel treffen. Ueberdies sieht man leicht, dass die Geschwindigkeit dieser Drehbewegung oder Pendelung insbesondere durch die Entfernung *WS* beeinflusst wird, dass daher geringe Unregelmässigkeiten in der Position von *S* schon bedeutende Verschiedenheiten hierin, folglich auch in dem Totale des Luftwiderstandes, verursachen müssen.

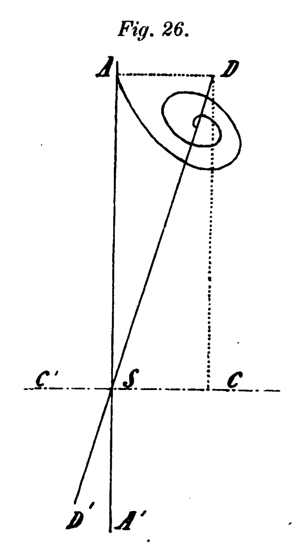
Um dieser nachtheiligen Drehbewegung des Geschosses um die Queraxe entgegenzuwirken, wird dem Geschosse schon im Rohre eine regelmässige Rotation um die Längenaxe von verhältnissmässig grosser Geschwindigkeit ertheilt. Um den Einfluss dieser Rotation auf die Geschossbewegung zu erörtern, soll vorerst wieder das Geschoss ohne fortschreitende Bewegung und der Einwirkung eines Luftstromes in constanter Richtung gegen die Geschossaxe ausgesetzt gedacht werden: die Rotation wird als Rechtsrotation (von oben gegen rechts, von rückwärts gesehen) angenommen.

Durch die Einwirkung des Luftstromes, welcher die Geschossaxe von unten und vor dem Schwerpunkte trifft, wird das Geschoss (wie oben ausgeführt) zur Drehung um die durch den Schwerpunkt *S* gehende horizontale Queraxe *CC'* (*Fig. 26*) angeregt; nachdem

* Eine Pendelung der Geschossaxe könnte nur eintreten, wenn die Entfernung *WS* veränderlich und bei einer Neigung $\alpha < 90^0$ Null wäre, so dass das Geschoss die Rückdrehung beginnen könnte, bevor noch infolge der Senkung der Bahntangente $\alpha = 180^0$ geworden ist. Die Mittellage dieser Pendelung müsste auf jeden Fall stark von der Bahntangente abweichen, da diese sich immer mehr von ihr entfernt.

das Geschoss aber bereits unter dem Einflusse der regelmässigen Rotation um die Längenaxe AA' steht, so werden sich diese beiden Drehungen zu einer Drehung um eine Mittelaxe zusammensetzen. Diese momentane Rotationsaxe DD' wird in die durch AA' und CC' gedachte Ebene, u. zw. nach dem Parallelogramm der Drehungen nach rechts* von der Längenaxe fallen. Nachdem jedoch die Rotation um die Längenachse mit grosser Geschwindigkeit vor sich geht, nachdem ferner diese Rotation die dem Geschosse natürlichste (das kleinste Trägheitsmoment hervorrufende) ist, so wird das Geschoss bestrebt sein, dieselbe beizubehalten; infolge dessen wird jeder Punkt der Längenaxe Spirallinien um die momentane Rotationsaxe SD beschreiben, wodurch sich die Längenaxe, ohne dass die Rotation um dieselbe eine Störung erleidet, immer mehr der momentanen Rotationsaxe nähern wird, bis sie mit derselben zusammenfällt. Durch die Einwirkung des Luftstromes von unten auf die Geschossaxe wird daher bewirkt, dass der Vordertheil dieser letzteren in kreiselnder Bewegung nach rechts aus seiner ursprünglichen Richtung (aus der Schussebene) ausschlägt. Nun greift der Luftstrom das Geschoss von links unten an, wodurch der Ast SC der Queraxe, daher auch die Ebene ASC gegen rechts unten geneigt wird; diese Neigung erhält somit auch die neue momentane Rotationsaxe, welcher sich die Längenaxe wieder in kreiselnder Bewegung nähert. Im zweiten Momente schlägt daher die Längenaxe nach rechts unten aus. Die Bewegung der Längenaxe gegen rechts abwärts geht so lange fort, als der Luftstrom das Geschoss von links unten trifft, d. h. bis die Längenaxe in die gleiche Höhe mit der Bahntangente gelangt. Denkt man sich von rückwärts auf das Geschoss sehend und betrachtet die Bewegung eines Punktes der Längenaxe, z. B. der Spitze A *(Fig. 27)*, so sieht man diesen Punkt im

Fig. 26.



* Nachdem die Rotation um AA' von S gegen A gesehen und die Rotation um CC' von S gegen C gesehen im gleichen Sinne (wie der Zeiger einer Uhr) erscheint, so entsprechen die beiden Aeste SA und SC einander.

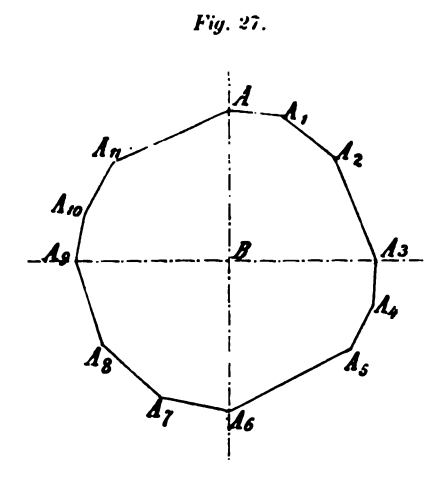


Fig. 27.

ersten Momente aus der Schussebene AB gegen rechts ausschlagen und nach A_1 gelangen; im zweiten Momente bewegt er sich von A_1 noch weiter nach rechts und nach abwärts bis A_2; in dieser Bewegung beharrt er in den nächsten Momenten, bis er nach A_3 in die gleiche Höhe mit der Bahntangente B kommt.

Wenn sich die Längenaxe in der gleichen Höhe mit der Bahntangente befindet, so greift der Luftstrom das Geschoss nur von links an und regt eine Drehung desselben um eine verticale Queraxe an, deren nach abwärts gerichteter Ast, dem Sinne der Drehung nach, dem Vordertheile der Längenaxe entspricht; die momentane Rotationsaxe fällt demnach gegen abwärts von der Längenaxe und diese letztere schlägt in dieser Richtung aus: der Punkt A gelangt nach A_4. Nachdem jetzt die Längenaxe unter die Bahntangente fällt, so greift der Luftstrom das Geschoss von links oben an, die Queraxe und mit ihr die momentane Rotationsaxe neigt sich jetzt nach links unten: dieser Richtung folgt auch die Längenaxe und der Punkt A kommt nach A_5. Diese Bewegung der Längenaxe nach links unten geht so lange fort, bis dieselbe wieder in die Schussebene (der Punkt A nach A_6) gelangt. Nun greift der Luftstrom das Geschoss nur von oben an, die Queraxe wird wieder horizontal (wie bei der anfänglichen Richtung der Längenaxe), nur dass jetzt der linke Ast derselben in Bezug auf den Sinn der Drehungen dem Vordertheil der Geschossaxe entspricht, daher die momentane Rotationsaxe nach links fällt; die Längenaxe schlägt nach links aus und der Punkt A gelangt nach A_7. Um die weitere Bewegung der Geschossaxe zu verfolgen, braucht man sich nur das bisher Erläuterte schematisch zusammenzustellen und durch Analogie zu ergänzen:

1.) Greift der Luftstrom das Geschoss von unten an (Stellung in A), so schlägt die Längenaxe nach rechts aus;
2.) greift der Luftstrom das Geschoss von oben an (Stellung in A_6), so schlägt die Längenaxe nach links aus;

3.) greift der Luftstrom das Geschoss von links an (Stellung in A_3), so schlägt die Längenaxe nach unten aus; daher auch
4.) greift der Luftstrom das Geschoss von rechts an, so schlägt die Längenaxe nach oben aus; ebenso
5.) greift der Luftstrom das Geschoss von links unten an (von A bis A_3), so schlägt die Längenaxe nach rechts unten aus;
6.) greift der Luftstrom das Geschoss von links oben an (von A_4 bis A_6), so schlägt die Längenaxe nach links unten aus; daher auch
7.) greift der Luftstrom das Geschoss von rechts oben an, so schlägt die Längenaxe nach links oben aus, und
8.) greift der Luftstrom das Geschoss von rechts unten an, so schlägt die Längenaxe nach rechts oben aus.

Wenn der Punkt A nach A_7 gekommen ist, so greift der Luftstrom von rechts oben ein, die Geschossaxe bewegt sich (7) nach links oben, der Punkt A gelangt über A_8 nach A_9 in gleiche Höhe mit der Bahntangente B; jetzt greift der Luftstrom von rechts ein, die Geschossaxe geht nach oben (4), der Punkt A nach A_{10}, worauf das Eingreifen des Luftstromes von rechts unten erfolgt, die Geschossaxe sich nach rechts oben (8) bewegt, der Punkt A über A_{11} nach A gelangt und seine Bewegung von A gegen $A_1 A_2 A_3$ .... von neuem beginnt.

Nachdem die Einwirkung des Luftstromes continuirlich geschieht, so wird der Punkt A nicht gerade Linien, sondern eine geschlossene Curve beschreiben, deren Mittelpunkt in B fällt; die Geschossaxe beschreibt demnach die Mantelfläche eines Kegels *(Fig. 28)* mit der Spitze in S und der Axe SB. Diese Bewegung der Geschossaxe wird conisches Pendeln genannt. Die oben bemerkte kreiselnde Bewegung der Geschossaxe um die momentane Rotationsaxe wird in einem Schwanken der Geschossaxe um die Kegelmantelfläche zum Ausdruck gelangen, so dass der Weg des Punktes A nicht die Curve $A A_1 A_2$ .... selbst, sondern die Schlangenlinie $A a_1 a_2 a_3$ .... sein wird.

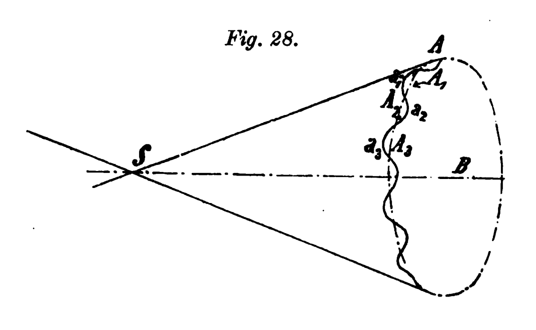


Fig. 28.

So lange der Luftwiderstand das Geschoss von links trifft, drängt er dasselbe gegen rechts ab und umgekehrt; ebenso geschieht ein Abdrängen des Geschosses gegen oben, wenn der Luftwiderstand dasselbe von unten trifft, und gegen unten, wenn der Luftwiderstand dasselbe von oben angreift.* Ausserdem tritt beim Eingreifen des Luftwiderstandes von unten infolge der durch die Rotation hervorgerufenen ungleichen Vertheilung des Luftdruckes (wie beim Rundgeschoss ausgeführt) ein Abdrängen des Geschosses nach links oben und beim Eingreifen des Luftwiderstandes von oben ein Abdrängen des Geschosses nach links unten ein.** Infolge der vollkommenen Symmetrie der Pendelbewegung der Geschossaxe gleichen sich diese Einflüsse während einer Pendelung aus und es kehrt der Geschossschwerpunkt am Schlusse der Pendelung in seine ursprüngliche Stellung zurück.

Die vorstehend beschriebene Bewegung der Geschossaxe und des Schwerpunktes findet unter der oben gemachten Voraussetzung statt, dass die Bahntangente eine unveränderliche Lage behält. Nachdem sich aber in der Wirklichkeit die Bahntangente fortwährend senkt, so wird der einer Pendelung entsprechende Weg des Punktes A auf der rechten Seite, wo dieser Punkt mit der Bahntangente geht, länger sein als auf der linken, wo er sich der Bahntangente entgegen bewegt. Dieser Weg kann daher auch keine in sich geschlossene Curve, sondern nur eine Schleife (*Fig. 29)* bilden. Nachdem die Geschossaxe und die Bahntangente in der Abgangsrichtung des Geschosses zusammenfallen, daher die Abwärtsbewegung gleichzeitig beginnen, so werden sich Schleifen nur dann bilden, wenn die Geschossaxe überhaupt nicht zu weit nach rechts ausschlägt und sich so rasch bewegt, dass sie der Bahntangente voreilen und auf die linke Seite derselben gelangen kann; bei weiterem Rechtsausschlagen und lang-

Fig. 29.

* Während der Pendelbewegung der Geschossaxe im 1. Quadranten weicht das Geschoss (der Geschosschwerpunkt) nach rechts oben, im 2. Quadranten nach rechts unten, im 3. Quadranten nach links unten, im 4. Quadranten nach links oben ab.

** Das erstere geschieht während der Pendelbewegung der Geschossaxe im 1. und 4., das letztere im 2. und 3. Quadranten.

samerer Bewegung der Geschossaxe wird sie beständig auf der rechten Seite der Bahntangente verbleiben. Da die Geschossaxe unter allen Umständen länger auf der rechten als auf der linken Seite der Bahntangente verweilt, daher der Luftwiderstand das Geschoss hauptsächlich von der linken Seite trifft und den Schwerpunkt gegen rechts abdrängt, so wird das Geschoss während des Fluges nach rechts von der Schussebene abweichen.* Ebenso wird infolge des längeren Verweilens der Geschossaxe oberhalb der Bahntangente ein Abdrängen derselben, d. h. eine Abweichung des Geschosses nach oben von der Normalbahn eintreten

Die Rechtsabweichung wird um so grösser sein, je weiter die Geschossaxe nach rechts ausschlägt und je langsamer sie sich nach abwärts bewegt; dies tritt in um so grösserem Grade ein, je grösser die durch den Luftwiderstand bedingte Anregung zur Rotation um die Queraxe und je langsamer die Rotation um die Längenaxe ist. Die erstere hängt von der Entfernung des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vom Schwerpunkte ab, und es wird daher ein Geschoss, bei gleicher Rotation um die Längenaxe, um so mehr nach rechts abweichen, je grösser diese Entfernung ist, d. h. je weiter sein Schwerpunkt nach rückwärts fällt. Das grössere Ausschlagen der Geschossaxe ist aber, wegen der schiefen Lage des Geschosses gegen die Bewegungsrichtung, mit einem grösseren Luftwiderstand und einem ungünstigeren Auftreffen auf das Zielobject verbunden, deshalb muss demselben durch eine grössere Geschwindigkeit der Rotation um die Längenaxe entgegengewirkt werden; es muss sonach diese Geschwindigkeit in einem bestimmten Verhältnisse zu der Entfernung des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vom Geschosschwerpunkte stehen.

Alles hier für die Rechtsrotation Dargelegte findet bei links rotirenden Geschossen in derselben Weise statt, nur geschieht das Ausschlagen der Geschossaxe, daher auch die Abweichung des Geschosses, nach links. Die Abweichung nach oben von der Normalbahn wird hiedurch nicht alterirt.

Wie aus Vorstehendem ersichtlich, bewirkt die Rotation um die Längenaxe, dass diese, welche sich infolge des vor dem Schwerpunkte angreifenden Luftwiderstandes immer mehr von der Bahntangente entfernen würde, sich umgekehrt ihr nähert, wodurch die Stabilität der Geschossaxe gesichert wird. Nachdem bei den Langgeschossen von der gegenwärtig gebräuchlichen Form der Angriffspunkt des Luftwiderstandes in der Regel vor den Schwerpunkt fällt,

* Dies ist die Ursache der Rechtsabweichung der rechts rotirenden Langgeschosse, auf welche oben in der Anmerkung zu den Rundgeschossen hingewiesen wurde. Die durch ungleiche Vertheilung des Luftdruckes bedingte Abdrängung des Geschosses gegen links ist im Allgemeinen zu klein, um mehr als ermässigend diese Rechtsabweichung zu beeinflussen.

so bildet das Schiessen dieser Geschosse mit Rotation die ausschliessliche Norm für die heutige Artillerie.*

Um dem Geschoss die Rotation um die Längenaxe zu ertheilen, ist das Geschützrohr mit den schraubenförmig gewundenen Zügen versehen: dem entsprechend muss das Geschoss Schraubenansätze haben, mit welchen es in die Züge eingreift. Das Geschoss, welches durch den Druck des Pulvergases geradlinig nach vorwärts getrieben

---

* Wenn Geschosse, bei welchen der Angriffspunkt des Luftwiderstandes hinter den Schwerpunkt fällt, mit Rotation um die Längenaxe abgeschossen werden, so tritt das genau Umgekehrte von dem ein, was für das Eintreffen des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vor dem Schwerpunkt angeführt wurde: bei Rechtsrotation treibt das Eingreifen des Luftwiderstandes von unten (oben) die Geschossaxe nach links (rechts), das Eingreifen des Luftwiderstandes von rechts (links) aber nach unten (oben). Nachdem der Luftwiderstand anfänglich von unten angreift, so schlägt die Geschossaxe sofort nach links aus, so dass dann der Luftwiderstand von rechts unten angreift und eine Bewegung der Geschossaxe nach links unten bewirkt. Die Geschossaxe bleibt daher hauptsächlich auf der linken Seite der Bahntangente, und es müssen solche Geschosse rechts rotirend nach links (links rotirend nach rechts) abweichen; diese Abweichung wird durch die ungleiche Luftvertheilung noch vergrössert. Nachdem sich die Geschossaxe anfänglich nach abwärts bewegt, so eilt sie auch hier der Bahntangente nach; dies würde aber ohne Rotation auch geschehen (wie oben unter 1.) auseinandergesetzt wurde) u. zw. würde sich die Geschossaxe in gerader Richtung (ohne aus der Schussebene zu treten) nach abwärts bewegen, während sie durch die Rotation zu einer Bewegung in krummer Fläche — zu einem weitern Wege — gezwungen wird. Hier wirkt also die Rotation nachtheilig für die Stabilität der Geschossaxe, und dies um so mehr, je weiter der Schwerpunkt nach vorwärts fällt; daher würden gerade die Pfeilgeschosse durch die Rotation am meisten an Axstabilität einbüssen.

Bei den Spitzgeschossen von der gebräuchlichen Form fällt der Angriffspunkt des Luftwiderstandes hinter den Schwerpunkt, wenn der Neigungswinkel der Geschossaxe zur Bahntangente sehr gross (nahezu an 90°) wird; nachdem sich solche Neigungen nur bei Geschossen ergeben können, welche, wie die Bomben aus Mörsern, mit kleinen Rotationsgeschwindigkeiten (bedingt durch die kleinen fortschreitenden Geschwindigkeiten) und unter grossen Elevationswinkeln abgeschossen werden, so erklärt sich hieraus die Erscheinung, dass rechts rotirende Bomben grösstentheils nach links abweichen und bei grossen Elevationen häufig nicht mit der Spitze, sondern mit dem Boden oder flach am Erdboden aufschlagen. — Bei Vollgeschossen von vollkommen cylindrischer Form fällt der Angriffspunkt des Luftwiderstandes bei kleinen Neigungen der Geschossaxe gegen die Bahntangente (bis ungefähr 25°) hinter den Schwerpunkt; diese Geschosse weichen daher, unter gewöhnlichen Elevationswinkeln mit Rechtsrotation abgeschossen, stets nach links ab und zeigen bei Elevationen über ungefähr 5° schon keine genügende Axstabilität.

wird, stösst mit den Schraubenansätzen an die eine Seitenfläche (Führungsfläche) der Züge an und wird dadurch gezwungen, der Richtung dieser Fläche zu folgen; nachdem es aber der geradlinigen Bewegung in der Richtung der Rohraxe nicht ausweichen kann, so muss es nebst dieser fortschreitenden Bewegung eine Drehung um die Längenaxe annehmen. Die Geschwindigkeit dieser Rotation ist von der Höhe des Schraubenganges (Drallänge des Zuges) und von der Anfangsgeschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung abhängig; ist die erstere l, die letztere V, so ist $\frac{V}{l}$ die Zahl der Umdrehungen in 1 Secunde (Tourenzahl), oder es geschieht eine Umdrehung des Geschosses in der Zeit $\frac{l}{V}$.

Bekanntlich* sind die Schraubenansätze bei den eisernen Geschossen grösstentheils nicht aus dem Geschossmaterial ausgearbeitet, sondern es wird hiezu ein weicheres Material (Blei, Kupfer, Bronce, Messing, Zinnzink) entweder in Form von Leisten und Warzen (bei Spielraumgeschossen) oder in Form von Mänteln und Ringen am Geschosse befestigt. In den Mänteln und Ringen werden die Führungsansätze während der Bewegung des Geschosses im Rohre selbst durch das Einschneiden der Felder hergestellt, wodurch der Spielraum vermieden wird. Dies kann jedoch nur bei den Hinterladgeschützen, wo das Geschoss nicht durch den Flug der Bohrung eingeführt wird, daher der Durchmesser um das Führungsmittel grösser gemacht werden kann als der Durchmesser des Fluges, in directer Weise, ohne Aenderung des Mantel- oder Ringdurchmessers, geschehen. Bei den Vorderladgeschützen, wo der Durchmesser des Fluges grösser ist als jener des Mantels (Ringes), muss der letztere, um in die Züge eintreten zu können, ausgedehnt (expandirt) werden; diese Führungsart des Geschosses wird Expansionsführung genannt. Die Expansion geschieht in der Regel durch das Pulvergas, welches entweder in eine glockenförmige Aushöhlung des rückwärtigsten Theiles des Mantels eindringt und diesen erweitert, oder aber den lose auf den etwas conischen Geschosshintertheil aufgezogenen Ring vortreibt und ausdehnt. Ebenso kann die Expansionsführung durch eine am Geschossboden befestigte gewölbte Scheibe erzielt werden, welche durch den Druck des Gases platt gedrückt und auf diese Art im Durchmesser vergrössert wird.** Bei den aus Blei erzeugten Geschossen der kleinen Feuerwaffen wird die Expansionsführung durch eine Ausnehmung am Geschossboden, in welche

---

* Siehe erster Theil, dritter Abschnitt.

** Eine solche expandirende Scheibe wird bekanntlich bei den Geschossen unserer Vorderladgeschütze nebst der Warzenführung angewendet; sie dient jedoch nicht zur eigentlichen Führung des Geschosses, sondern nur zum Aufheben des Spielraumes am Hintertheil des Geschosses. Eine expandirende Führungsscheibe, mit dem Führungsmantel verbunden, haben die Stahlgeschosse der Palmkrantzschen Mitrailleuse.

das expandirende Gas eindringt, erreicht. Diese Geschosse sind grösstentheils mit Ringnuten im cylindrischen Theile versehen, welche es ermöglichen, dass das Geschoss der Länge nach etwas zusammengedrückt, daher im Durchmesser erweitert wird und besser in die Züge eingreift;* diese Führungsart wird Compressionsführung genannt.

Bei den Geschossen der Hinterladgeschütze wird durch das Führungsmittel nebst der Aufhebung des Spielraumes eine vollständige Centrirung erreicht; bei den Geschossen der Vorderlader findet das letztere durch die Expansionsführung nicht oder nur unvollkommen statt, nachdem das expandirte Führungsmittel sich zu weit rückwärts befindet, um eine schwankende Bewegung des Geschossvordertheiles zu verhindern. Hingegen kann bei der Leisten- oder Warzenführung, welche sich über den grössten Theil des Geschosscylinders erstreckt, die Centrirung durch die Züge selbst erfolgen, worüber das Nähere bei Betrachtung der Zugformen im dritten Abschnitte.

Zur Mantel-, Ring- und Expansionsführung wird, um den Kraftaufwand beim Einschneiden der Felder, beziehungsweise beim Einpressen des expandirenden Führungsmittels in die Züge zu vermindern, ein möglichst weiches Material (Blei, und wo die hergestellten Bleileisten eine ungenügende Widerstandsfähigkeit hätten, Kupfer) angewendet; die Führungsleisten oder Warzen der Spielraumgeschosse, welche wegen der schwankenden Bewegung des Geschosses im Rohre Anschläge erleiden, müssen aus einem widerstandsfähigeren Material (Bronce, Messing etc.) erzeugt sein.

III. Einrichtung der Geschosse zur Erzielung der beabsichtigten Wirkung.

Ausser der allgemeinen, hauptsächlich (so weit die Geschossconstruction in Frage kommt) von der Belastung des Querschnittes abhängigen Bedingung für die Wirkung jedes Geschosses, dass dasselbe mit einer möglichst grossen lebendigen Kraft am Ziele anlangt, sind die in Bezug auf Wirkung verschiedenen Geschossgattungen speciellen Bedingungen unterworfen, welchen durch die Wahl des Geschossmaterials und durch eine rationelle Construction entsprochen werden muss, wobei jedoch die Rücksicht auf die regelmässige Flugbewegung (Treffsicherheit) nicht aus den Augen gelassen werden darf.

Nachdem die Belastung des Querschnittes bei gegebenem Material und gegebener principieller Construction eine Folge der

* Diese Ringnuten haben überdies den Zweck, dem Luftwiderstande grössere Angriffsflächen zu bieten, wodurch der Angriffspunkt des Luftwiderstandes auf die Geschossaxe weiter nach rückwärts fällt, was bei diesen Geschossen, welche als Vollgeschosse den Schwerpunkt weit rückwärts haben, für die Flugbewegung von Vortheil ist.

Länge des Geschosses, insbesondere des cylindrischen Hintertheils ist, so ist eine möglichst grosse Geschosslänge für die Wirkung von Vortheil; dieser Vortheil wird bei allen Geschossen, von welchen man eine Sprengwirkung erwartet, noch dadurch vergrössert, dass das längere Geschoss eine grössere Sprengladung aufzunehmen vermag. Man trachet demnach den Geschossen eine möglichst grosse Länge zu geben.

Die Steigerung der Geschosslänge findet jedoch hauptsächlich an der Rücksicht auf die Treffsicherheit eine Grenze: Je länger das Geschoss, desto grösser der Abstand zwischen dem Angriffspunkte des Luftwiderstandes und dem Geschosschwerpunkte, desto unsicherer demnach (bei gegebener Rotationsgeschwindigkeit) der Flug des Geschosses. Gewöhnlich werden die Geschosse nicht über 3 Kaliber lang gemacht; die gebräuchlichste Geschosslänge ist gegenwärtig $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Kaliber.

Im Hinblick auf das Geschossmaterial im Allgemeinen ist zu bemerken, dass das Geschoss sowol durch den Druck des Pulvergases im Rohre, als auch beim Auftreffen auf das Ziel hauptsächlich auf Zerdrücken in Anspruch genommen wird, daher für Geschützgeschosse nur Eisensorten von grosser rückwirkender Festigkeit: Stahl- und Gusseisen, verwendet werden.

Für die verschiedenen Geschossgattungen ergeben sich bezüglich des Geschossmaterials und der Construction nachstehende Grundsätze:

1.) Die Percussionsgeschosse **(Panzergeschosse)** sollen Deckungen von sehr bedeutender Widerstandsfähigkeit (Panzerwände) durchschlagen.

Die Arbeit, welche das Geschoss vermöge der ihm innewohnenden lebendigen Kraft beim Aufschlagen zu verrichten im Stande ist, bewirkt einerseits eine Veränderung am Zielobjecte, andererseits eine solche am Geschosse selbst, so dass nur jener Theil der Arbeit auf die Wirkung (Veränderung am Zielobjecte) aufgewendet wird, welchen die Veränderung am Geschosse nicht absorbirt. Wäre das Geschossmaterial dem Material der Panzerwand derart überlegen, dass man das Geschoss als absolut unveränderlich betrachten könnte, so würde die ganze Arbeit am Zielobjecte geleistet werden, d. h. es würde die Wirkung der lebendigen Kraft des Geschosses entsprechen; ebenso umgekehrt, wenn das Material der Panzerplatte unvergleichlich widerstandsfähiger als das Geschossmaterial wäre, so würde sich die ganze Arbeit im Deformiren des Geschosses (Zertrümmern desselben und Weg-

schleudern der Stücke, bei weicheren Geschossen im Zerspritzen etc.) äussern und die Wirkung auf das Zielobject wäre Null. Dies macht es nothwendig, für Panzergeschosse ein Material von möglichst grosser Festigkeit zu wählen, damit dieselben beim Aufschlage keine oder nur sehr geringe Deformation erfahren. Diese Geschosse werden demnach entweder aus Gusstahl oder aus dem besten Gusseisen erzeugt. Die Spitze, als der der Deformirung zunächst ausgesetzte Geschosstheil, wird bei den Stahlgeschossen (in Oel oder Wasser) gehärtet, bei den Gusseisengeschossen aber in eine eiserne Form gegossen, wodurch sie infolge der rascheren Abkühlung eine grosse Härte und grössere Festigkeit erhält: diese Art Gusseisen, welches sich von dem gewöhnlichen (in eine Sandform gegossenen) durch ein strahliges Gefüge anstatt des körnigen unterscheidet, wird Hartguss genannt, daher die auf diese Art hergestellten Geschosse den Namen Hartgussgeschosse führen.

Die Deformation, welche das Geschoss beim Aufschlagen auf eine Panzerwand erleidet, besteht zunächst in einer Verkürzung seiner Längenaxe (Stauchung), welche mit einer Vergrösserung des Durchmessers (Ausbauchung) verbunden ist; bei grösserer Deformation entstehen an der Stelle der grössten Ausbauchung Sprünge, welche sich vom Umfange in das Innere des Geschosses fortpflanzen und das gänzliche Zerspringen des Geschosses verursachen können. Ein hartes, sprödes Material von grosser rückwirkender und kleinerer absoluter Festigkeit wird zwar schwerer verkürzt und ausgebaucht, erhält jedoch schon bei geringer Ausbauchung Sprünge, welche sich rasch verbreiten und leicht das gänzliche Zerspringen des Geschosses bewirken; ein zäheres, weicheres Material von kleinerer rückwirkender und grösserer absoluter Festigkeit aber wird leichter verkürzt und ausgebaucht, hingegen wird es eine grössere Ausbauchung ertragen, ohne Sprünge zu erhalten, und selbst wenn sich Sprünge bilden, werden diese nicht so leicht ein gänzliches Zertrennen des Geschosses bewirken. Dieser Gegensatz drückt sich ungefähr in dem Verhalten der Hartguss- und der Stahlgeschosse aus: die ersteren werden wenig verkürzt, zerspringen aber leichter; die letzteren erleiden eine grössere Verkürzung, zerspringen aber trotzdessen schwerer. Nachdem die grösste Ausbauchung erst im cylindrischen Geschosstheile, ungefähr am Zusammenstoss desselben mit der Spitze, eintritt, so erklärt es sich auch, dass der cylindrische Geschosstheil, zur Vermeidung der Sprödigkeit, bei Geschossen aus beiden Materien nicht hart oder wenigstens nicht so hart wie die Spitze gemacht wird.

Die Panzergeschosse werden entweder als Vollgeschosse oder als Granaten construirt.

Die Granaten haben zwar, wegen der Aushöhlung, eine geringere Festigkeit, daher einen geringeren Durchschlagseffect; dieser Nachtheil wird aber durch den Sprengeffect der Granaten, auf welchen man bei den Vollgeschossen verzichtet, aufgewogen. Ueberdies fällt bei den

Granaten, nachdem sich die Aushöhlung hauptsächlich im rückwärtigen Theile befindet, der Schwerpunkt weiter gegen die Spitze, wodurch eine sicherere Flugbewegung bedingt ist; dies erlaubt es auch, den Granaten eine längere, schlankere Spitze zu geben, wodurch nicht nur der Luftwiderstand, daher der Kraftverlust während des Fluges vermindert, sondern auch das Eindringen in die Panzerwand erleichtert wird. Bei den Panzergranaten mit ogival gestalteter Spitze macht man den Radius des die Spitzenoberfläche erzeugenden Bogens gegenwärtig in der Regel 2 Kaliber lang, wodurch die Spitze eine Länge von ungefähr $1^1/_3$ Kaliber, also nahezu die Hälfte der Geschosslänge erhält. Um das Geschoss durch die Aushöhlung, besonders in den der Deformation am meisten ausgesetzten Theilen (Spitze und Beginn des cylindrischen Theiles), nicht zu sehr zu schwächen, reicht die Aushöhlung nur wenig in die Spitze hinein und verjüngt sich von rück- gegen vorwärts; meistens wird die Aushöhlung nach dem grössten Theil ihrer Länge ebenfalls ogival geformt.* Nachdem selbst der rückwärtigste Theil des Geschosses, wohin der grösste Durchmesser der Aushöhlung fällt, noch genügende Festigkeit, daher eine bedeutende Wandstärke haben muss, so ist der Fassungsraum der Aushöhlung, somit auch die einzubringende Sprengladung, verhältnissmässig klein, daher zur Erzielung einer entsprechenden Sprengwirkung die Anwendung einer möglichst brisanten Pulversorte als Sprengladung geboten.** Die Anwendung eines Zünders zur Entzündung der Sprengladung ist überflüssig, da diese durch den Choc beim Auftreffen des Geschosses von selbst erfolgt.

Die eigentliche Ursache der Entzündung der Sprengladung beim Auftreffen des Geschosses ist bis jetzt nicht genügend aufgeklärt; es scheinen dabei mehrere Umstände mitzuwirken: die Erwärmung des Geschosses, der Schlag der Pulvermasse beim Vorstürzen gegen die vordere Wand der Aushöhlung, die starke Reibung der Pulverkörner aneinander und an den Wänden der Aushöhlung, vielleicht auch die Erwärmung der Luft vor der Ladung, welche durch die Pulvermasse stark comprimirt wird. Damit das Zersprengen des Geschosses durch die Spreng-

---

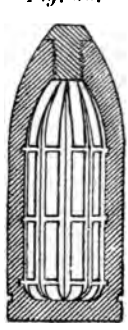
* Siehe *Fig. 87* und *90* im ersten Theil.

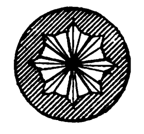
** Aus dem ersten Theile ist bekannt, dass bei unseren Panzergranaten Gewehrpulver als Sprengladung angewendet wird. Die Bemühungen, als Sprengladung für Granaten überhaupt, insbesondere aber für Panzergranaten, ein brisantes Sprengpräparat zu verwenden, haben bis jetzt zu keinem befriedigenden Resultat geführt, nachdem die Entzündung dieser Präparate durch den Stoss, welchen das Geschoss bei Beginn seiner Bewegung im Rohre erhält, nicht hintangehalten werden konnte.

ladung den Durchschlagseffect nicht beeinträchtige, darf es nicht früher eintreten, als nachdem das Geschoss die ganze Panzerwand durchschlagen hat und in die Rücklage (die eigentliche Bordwand bei Schiffen) eingedrungen ist; um die Entzündung der Sprengladung entsprechend zu verzögern, wird bekanntlich bei unseren Panzergranaten die Sprengladung in einem Säckchen verwahrt.

2.) Die Sprenggeschosse (**Zündergranaten**)*, bei welchen der Sprengeffect in erster Linie steht und nebstdem nur das Durchschlagen von weniger widerstandsfähigen Deckungen gefordert wird, werden aus gewöhnlichem Gusseisen hergestellt, erhalten in der Regel eine kürzere (gedrungenere) Spitze und eine durchaus gleiche, kleinere Wandstärke** als die Panzergranaten, so dass der Fassungsraum der Aushöhlung möglichst gross ausfällt. Nachdem der Choc beim Aufschlagen des Geschosses nicht gross genug ist, damit sich die Sprengladung rechtzeitig von selbst entzünde, so wird hiezu ein Zünder angewendet, zu dessen Aufnahme das Geschoss in der Spitze mit einem Mundloch versehen ist.

Fig. 30.





Damit die Zündergranaten der kleinen Geschütze, welche in den meisten Fällen (gleich den Kartätschgeschossen) gegen lebendes Material zu wirken haben, in möglichst viele, jedoch zur Ausserkampfsetzung von Menschen (und Thieren im Landkriege) genügend grosse Stücke zerspringen, erhalten sie im Innern noch eine besondere Einrichtung, u. zw.:

a) In die Wand der Aushöhlung werden der Länge und dem Umfange nach Rinnen hergestellt (*Fig. 30*), nach welchen die Zertheilung des Geschosses durch die Sprengladung vor sich gehen soll; diese Geschosse führen den Namen: **Granaten mit vorgezeichneten Sprunglinien.**

b) Das Geschoss ist **doppelwandig**, d. h. es besteht aus zwei Theilen, von welchen der äussere die eigentliche Geschosshülle, der innere eine Art Füllung bildet; dieser Theil ist an der Innenseite glatt und nach der beabsichtigten Gestalt der Aushöhlung ge-

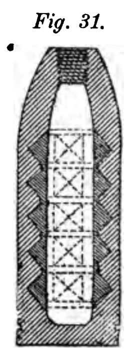
---

* Die Sprenggeschosse der kurzen, für Verticalfeuer bestimmten Geschütze (Mörser) führen den Namen »Bomben«.

** Nur der vorderste Theil der Spitze wird gewöhnlich etwas stärker gehalten. Die Wandstärke im übrigen Theil des Geschosses darf nicht so gering gemacht werden, dass das Geschoss der Gefahr ausgesetzt ist, durch den Stoss des Pulvergases im Rohre zu zerschellen.

formt, an der Aussenseite aber mit regelmässig gestellten vierseitigen Pyramiden versehen *(Fig. 31)*. Durch die Sprengladung soll der innere Theil nach den Zwischenlinien zwischen den Pyramiden, der äussere Theil aber nach den durch das Vortreten der Pyramidenkanten vorgezeichneten Linien zertheilt werden.

Fig. 31.



c) Der innere Theil des doppelwandigen Geschosses ist nicht aus Einem Stücke, sondern durch übereinander geschlichtete Ringe hergestellt, welche anstatt mit Pyramiden, mit abgerundeten Zacken versehen sind;* hiedurch wird die durch die Sprengladung zu bewirkende Zertheilungsarbeit vermindert, daher die Zertheilung besser durchgeführt. Diese Geschosse heissen **doppelwandige Ringhohlgeschosse.**

d) Das Geschoss ist, ähnlich dem vorbeschriebenen, mit Ringen angefüllt, jedoch sind diese Ringe glatt und radial in mehrere Stücke (Ringsegmente) zerschnitten, so dass die Nothwendigkeit einer weitern Zertheilung der Ringe durch die Sprengladung entfällt und diese nur die äussere Hülle zu zerreissen hat; diese Einrichtung streift demnach schon sehr nahe an jene der Shrapnels. Diese Geschosse werden mit dem Namen **Segmentgranaten** bezeichnet.

3.) Die **Brandgeschosse** sind von derselben Construction, wie die einwandigen Zündergranaten, nur erhalten sie anstatt der Sprengladung einen Brandsatz** und sind in der Spitze mit mehreren Löchern versehen, durch welche der entzündete Brandsatz nach aussen sprüht.

Häufig werden die Brandgeschosse durch Zündergranaten ersetzt, in welche nebst der Sprengladung cylindrische oder conische Brandsatzstücke eingefüllt sind.

4.) Die Granatenkartätschen **(Shrapnels)** sind ebenfalls im Wesentlichen ähnlich den Zündergranaten construirt, nur besteht die Füllung aus der Sprengladung und aus S c h r o t e n, kleinen Kugeln aus Eisen, Bronce, Blei etc. Die einfachste Granatkartätsche ist jene, bei welcher Sprengladung und Schrote ungesondert in die Aushöhlung eingefüllt sind. Nachdem jedoch bei dieser Füllungsart ein Zerreiben des Pulvers beim Stosse im Rohre und eine unvollständige Verbrennung

---

* Siehe *Fig. 89* im ersten Theil.

** Der Brandsatz besteht aus Pulver, Schwefel und Schwarzpech mit einem kleinen Zusatz an Terpentin.

der Sprengladung stattfindet, sowie die Schrote zu sehr zerstreut werden, so sondert man in der Regel die beiden Theile der Füllung von einander.

Es wird entweder die Sprengladung in eine central eingesetzte Röhre eingebracht und befindet sich demnach innerhalb der Schrotfüllung: Röhrenshrapnels, oder die Sprengladung befindet sich in einem Raume (einer eigenen Kammer) oberhalb oder unterhalb der Schrotfüllung, von dieser durch ein Diapfragma (eine eiserne Scheibe, eine Lage eingegossenen Schwefels etc.) getrennt: Diapfragma- oder Kammershrapnels. Die Kammershrapnels mit der Kammer unterhalb der Schrotfüllung haben vor den beiden andern Shrapnelgattungen den Vortheil, dass die Schrote durch die Sprengladung wie ein Stempel nach vorwärts zu ausgestossen, daher weniger zerstreut werden; diese Wirkung wird dadurch begünstigt, dass die Wandstärke in der Kammer verhältnissmässig gross, vorne aber möglichst klein gemacht wird, so dass der Kammertheil nicht zersprengt, sondern die ganze Wirkung der Sprengladung auf das Ausstossen der Schrotfüllung aufgewendet wird, welchem Vorgange der leicht abzusprengende Kopftheil nur geringen Widerstand bietet* und die Anwendung einer Stossscheibe als Diapfragma zu Gute kommt. Sie haben aber den Nachtheil, dass bei grösserer Geschwindigkeit des Geschosses die Streuung der Schrote zu gering ist und dass die durch den Schrotraum geführte, leer bleibende Communicationsröhre, welche den Zünder mit der Sprengladung verbindet, die Schrotfüllung beeinträchtigt. Dieser Verstoss gegen die Oekonomie mit dem Hohlraum ist besonders bei kleinen Kalibern nicht ohne Bedeutung.

5.) Die **Kartätschen** sind in einer leichten Hülle, grösstentheils einer Blechbüchse, vereinigte Schrote, welche durch die Pulverladung nach dem Zerreissen der Hülle aus dem Rohre als einzelne Geschosse herausgeschleudert werden; um eine zu grosse Streuung der Schrote zu verhindern, ist auch hier eine starke Stossscheibe hinter den Schroten in die Büchse eingesetzt.

6.) Die **Geschosse der kleinen Feuerwaffen** sind in der Regel Vollgeschosse;** diese Geschosse sind grösstentheils aus Blei

---

* Häufig ist der Kopftheil des Geschosses aus Holz und mit Spangen an das Geschoss befestigt.

** Die Anwendung von Sprenggeschossen für die Handfeuerwaffen, welche ausschliesslich gegen lebendes Material zu wirken haben, ist vermöge internationaler Vereinbarung in allen europäischen Staaten ausgeschlossen.

angefertigt, doch kommen bei den Waffen grösseren Kalibers (grosskalibrigen Mitrailleusen, Wallbüchsen etc.) auch Geschosse aus Gusseisen oder Stahl vor, nachdem diese in erster Linie Deckungen zu durchschlagen haben, daher eigentlich als Percussionsgeschosse kleinster Gattung zu betrachten sind.

IV. Geschosszünder.

Die zur Entzündung der Sprengladung in Zündergranaten und Shrapnels zur Anwendung kommenden Zünder sind derart eingerichtet, dass die Entzündung der Ladung entweder beim Auftreffen auf das Ziel, eventuell am Erdboden (kurz, beim Aufschlage auf einen genügend widerstandsfähigen Gegenstand), oder aber während des Geschossfluges, eine bestimmte Zeit, nachdem das Geschoss die Geschützmündung verlassen hat, erfolgt; die ersteren heissen **Aufschlagzünder,** die letzteren **Zeitzünder.** Nachdem die Bedingung einer guten Wirkung bei den Granaten das Zerspringen beim Aufschlage, bei den Shrapnels das Zerspringen während des Fluges ist, so sind Aufschlagzünder im Allgemeinen Granatzünder, Zeitzünder aber Shrapnelzünder.

Die Aufschlagzünder sind entweder **Concussions-** oder **Percussionszünder.** In den ersteren befindet sich ein Brandsatz, welcher im Geschützrohre entzündet wird und mit der Sprengladung durch Kanäle communicirt, welche während des Geschossfluges durch Knöpfchen verschlossen bleiben; beim Aufschlagen des Geschosses fallen diese Knöpfchen durch die Erschütterung aus den Kanälen heraus, wodurch die Entzündung der Sprengladung ermöglicht wird. Bei den Percussionszündern geschieht im Aufschlagsmomente die Entzündung eines im Zünder enthaltenen Zündpräparates durch den Schlag eines lose in den Zünder eingesetzten Körpers (Schlägers), welcher infolge der Hemmung des Geschosses und seines Bestrebens, den früheren Bewegungszustand beizubehalten, im Geschosse eine relative Bewegung von rück- gegen vorwärts annimmt und auf einen oberhalb desselben befindlichen Theil des Zünders schlägt. In der Regel ist das Zündpräparat in einer Kapsel (Zündpille) verwahrt und wird durch das beim Schlag bewirkte Eindringen einer stählernen Zündnadel in die Pille entzündet. Grösstentheils ist die Zündnadel in den Schläger, die Zündpille aber in den fixen Zündertheil, gegen welchen der Schlag geführt wird, eingesetzt; es ist aber auch die entgegengesetzte Anordnung nicht ausgeschlossen.

Die Entzündung des Brandsatzes des Concussionszünders geschieht durch das Gas der Geschützladung; dies ist, nachdem sich der Zünder in der Geschosspitze befindet, nur bei Spielraumgeschützen möglich, daher die Concussionszünder nur bei den Granaten solcher Geschütze anwendbar sind. Für Geschosse ohne Spielraum sind nur Percussionszünder zu verwenden, was selbstverständlich ihre Anwendbarkeit für Spielraumgeschosse nicht ausschliesst. Jedoch ist die Bedingung der Wirkung der Percussionszünder, dass das Geschoss mit der Spitze auftrifft, welche Bedingung bei den Concussionszündern nicht besteht, da es sich hier nur um Erschütterung handelt; aus diesem Grunde kann bei Spielraum-Rundgranaten der Percussionszünder nicht, sondern nur der Concussionszünder angewendet werden.

Die **Zeitzünder** müssen einen Brandsatz enthalten, welcher im Rohre entzündet wird und, nachdem er eine bestimmte Zeit gebrannt hat, das Feuer der Sprengladung mittheilt; je länger diese im Verhältnisse zur Schussdistanz stehende Zeit, ein desto längeres Stück des Brandsatzes muss verbrennen, desto grösser muss daher die Entfernung von der Entzündungs- bis zur Feuermittheilungsstelle des Brandsatzes sein. Die Regulirung dieser Länge des Brandsatzes heisst bekanntlich »Tempirung des Zünders«; behufs dieser Tempirung kann entweder die Feuermittheilungsstelle im Zünder fix und die Entzündungsstelle des Brandsatzes veränderlich sein oder umgekehrt. Je nachdem der Brandsatz säulenförmig in einen röhrenförmigen Zünder oder aber in eine ringförmige Nut einer Platte eingepresst ist, unterscheidet man die Zeitzünder als Säulen- und Ringzünder.

Bei den Säulenzündern ist grösstentheils die Entzündungsstelle fix und es wird die Tempirung durch Abschneiden der Röhre oder durch Oeffnung eines Kanals in verschiedener Säulenhöhe* bewirkt. Bei den Ringzündern ist die umgekehrte Anordnung vorherrschend,

* Grösstentheils sind solche Kanäle in nach den einzustellenden Tempirungen verschiedenen Höhen der Röhre schon vorhanden, nur verschlossen; das Tempiren besteht dann darin, dass der Verschluss des betreffenden Kanals durchstochen wird. Dies sowie das Abschneiden der Röhre bedingt das Einsetzen des Zünders unmittelbar vor dem Schusse, ist also nur ausnahmsweise, bei Positionsgeschützen, anwendbar. Günstiger sind die Röhren, welche mit offenen Kanälen versehen und in eine Hülse mit einem spiralförmig laufenden Schlitz eingesetzt sind; die Tempirung besteht dann in einer derartigen Drehung der Röhre, dass der betreffende Distanzkanal in den Schlitz gelangt.

d. h. der Satzring befindet sich in einer drehbaren Scheibe und es wird beim Tempiren die Entzündungsstelle durch entsprechende Drehung der Scheibe von der Feuermittheilungsstelle im Zünder verschoben.

Die Entzündung des Brandsatzes der Zeitzünder kann entweder durch das Gas der Geschützladung oder durch einen Percussions-Apparat geschehen; das erstere ist nur bei Spielraumgeschützen möglich, daher sind die nach diesem Princip construirten Zünder nur für die Geschosse dieser Geschütze anwendbar.* Der Percussionsapparat zur Entzündung des Brandsatzes bei Zeitzündern hat die umgekehrte Anordnung, wie der Percussionszünder der Granaten, d. h. es schlägt der Schläger nach rückwärts, indem er bei Beginn der Geschossbewegung im Rohre infolge seines Beharrungsbestrebens eine relative Rückwärtsbewegung im Geschosse annimmt; auch hier kann entweder die Zündpille oder die Zündnadel im Schläger eingesetzt sein.

Um bei den Percussionszündern und den Percussionsapparaten der Zeitzünder die Gefahr einer unbeabsichtigten Entzündung fernzuhalten, muss der Schläger durch eine Versicherung an der nicht beabsichtigten Bewegung verhindert werden; diese Versicherung muss aber entweder vor der beabsichtigten Wirkung des Schlägers entfernt werden oder aber so leicht sein, dass sie durch die Bewegung des Schlägers selbst ausser Kraft gesetzt wird.

Als Versicherungen werden angewendet: Vorstecker, welche von aussen oberhalb des Schlägers (bei Granatzündern) eingeschoben und dann durch die Rotationsbewegung des Geschosses während des Fluges herausgeschleudert werden, — Drähte oder Stifte, welche den Schläger im Zünder festhalten und bei seiner Bewegung zerrissen oder abgebrochen werden, — Bleiringe, Spiralfedern, aufgestülpte leichte Hülsen etc., welche den Schläger von dem fixen Zündertheile, gegen welchen er schlagen soll, fernhalten und beim Schlag zusammengedrückt oder die Stülpen der Hülsen gerade gebogen werden, u. s. f. Häufig werden zur grösseren Sicherheit zwei verschiedene Versicherungen bei einem und demselben Zünder angewendet.

---

* Diese einfachere und für die Sicherheit der Lademanipulation vortheilhaftere Einrichtung des Zünders könnte nur dann bei den Geschossen der Geschütze ohne Spielraum angewendet werden, wenn es möglich wäre, den Zünder in den Geschossboden zu verlegen.

Die meiste Anwendung bei den Geschützen neuerer Sisteme finden die Percussionszünder für Granaten und die Percussions-Ringzünder mit drehbarer Scheibe für Shrapnels.

Schliesslich wären die ausnahmsweise vorkommenden Doppelzünder zu erwähnen, welche die Vereinigung eines Aufschlag- und eines Zeitzünders bilden und den Zweck haben, die Verwendung eines entsprechend eingerichteten Geschossen (z. B. einer Segmentgranate) sowol als Granate wie als Shrapnel zu ermöglichen, sowie bei den Shrapnels die Entzündung der Sprengladung mindestens beim Aufschlage zu bewirken, im Falle der Zeitzünder versagt.

Dritter Abschnitt.

Einrichtung der Geschützrohre.

Die Bohrung der Geschützrohre ist in Bezug auf ihre Form, ihre Dimensionen und die specielle Einrichtung in erster Linie durch die festgesetzte Construction der in Gebrauch kommenden Geschosse bedingt; weiters nimmt hierauf (insbesondere auf die Dimensionirung) die Rücksicht auf eine möglichst rationelle Ausnützung der Triebkraft der Pulverladung, auf den Zweck der Verwendung des Geschützes und auf die praktische Handhabung desselben Einfluss.

Die Stärkedimensionen der Geschützrohre sind einerseits von der Grösse des in der Bohrung auftretenden Gasdruckes, andererseits von der Festigkeit des zur Herstellung des Rohres verwendeten Materials und von der Erzeugungsweise abhängig.

Für die Einrichtung der Nebentheile ist die Rücksicht auf die Bedienung des Geschützes hauptsächlich massgebend.

I. Einrichtung der Bohrung.

Die Bohrung zerfällt der Länge nach in drei Räume: den Raum für die Pulverladung (Ladungsraum oder Kammer), den Raum, in welchem das Geschoss lagert (Geschossraum), und den Raum für die Bewegung des Geschosses (den Flug); häufig fällt der Geschossraum mit dem Ladungsraum oder dem Flug zusammen, oft sind alle drei Räume der Construction nach nicht von einander unterschieden und bilden geometrisch ein Ganzes.

a) Der Flug.

Der sphärischen und cylindrischen Form der gegenwärtig gebräuchlichen Geschosse entsprechend ist die Form des Fluges im Wesentlichen eine cylindrische; bei Geschützen für Rundgeschosse ist

dieser Cylinder glatt (glatte Geschütze), bei Geschützen für Langgeschosse aber mit schraubenförmig gewundenen Zügen versehen* (gezogene Geschütze).

1.) **Zahl der Züge.** Um dem Langgeschoss die Rotation um die Längenaxe zu ertheilen, würde Ein Zug genügen. Hiebei wäre aber die Führung des Spielraumgeschosses eine mangelhafte und die Isolirung des Geschosskörpers von den Bohrungswänden nicht vorhanden, daher das Geschoss starken Schwankungen und Anschlägen an die Bohrungswände ausgesetzt: überdies würde der Druck der Führungsleiste des Geschosses gegen die Führungsfläche des Zuges auf eine einzige Stelle concentrirt, was eine Beschädigung beider, insbesondere aber der aus weichem Material erzeugten Führungsleiste, daher eine Ungleichmässigkeit der Rotations-Geschwindigkeit zur Folge haben könnte. Um diesen Druck gleichmässiger zu vertheilen und die Geschossführung zu verbessern, wird die Zahl der Züge so gross als möglich angenommen, wodurch bei Geschossen mit Mantel- oder Ringführung noch der Vortheil gewonnen wird, dass das Einschneiden der Felder einen geringeren Kraftaufwand erfordert und correcter erfolgt. Nachdem aber mit der Steigerung der Zugzahl die Breite der Züge und Felder abnimmt, so zieht die Rücksicht auf die genügende Widerstandsfähigkeit der Felder der Bohrung und der Führungsleisten des Geschosses dieser Steigerung eine Grenze. Diese Grenze wird bei Spielraumgeschützen wegen der Anschläge, welche die Führungsleisten oder Warzen erleiden, sowie um die durch das Einsetzen der Leisten (Warzen) bedingten Erzeugungsschwierigkeiten der Geschosse zu vermindern, eine engere sein, als bei Geschützen ohne Spielraum; diesen gibt man demnach im Allgemeinen mehr Züge, u. zw. um so mehr, je widerstandsfähiger das Führungsmaterial ist (für Kupferführung mehr als für Bleiführung), während die Spielraumgeschütze eine kleinere Zahl von Zügen erhalten. Bei einem und demselben Geschützsistem wächst die Zahl der Züge mit dem Kaliber.

2.) **Breite und Tiefe der Züge.** Die Breite der Züge steht in selbstverständlichem Zusammenhange mit der Zahl der Züge: je grösser diese, desto kleiner die Breite; dasselbe gilt im Wesentlichen auch von der Zugtiefe. Bezüglich des Verhältnisses der Zug- zur

---

* Für Langgeschosse, welche nach dem Pfeilprincip construirt sind, braucht die Bohrung nicht gezogen zu sein; nachdem jedoch die Pfeilgeschosse nirgends in Anwendung sind, so kann von diesem Umstande abgesehen werden.

Feldbreite gilt bei Geschützen ohne Spielraum der Grundsatz: *möglichst kleine Felderbreite*, um das Einschneiden der Felder in das Führungsmittel zu erleichtern und genügend widerstandsfähige Führungsleisten zu erhalten; jedoch darf diese Verminderung der Felderbreite andererseits nicht so weit gehen, dass dadurch die Widerstandsfähigkeit der Felder selbst ungenügend wird. Bei den Spielraumgeschützen gilt der umgekehrte Grundsatz: *möglichst kleine Zugbreite*, um das Geschoss nicht durch Einsetzen von breiten Führungsleisten oder Warzen unnöthig zu schwächen; es wird daher die Zugbreite im Allgemeinen nur so gross gemacht, als dies durch die Rücksicht auf genügende Festigkeit der Führungsleisten oder Warzen geboten ist, wodurch sich bei der kleineren Zügezahl breite Felder ergeben. Dies gilt aber nur für Züge, welche im Profil vierseitig sind; bei dreiseitigen Zügen kann die Ausdehnung der Zugbreite bis zum gänzlichen Verschwinden der Felder ausgedehnt werden.

Züge von *veränderlicher Breite* kommen sowol bei Geschützen ohne Spielraum, als auch bei Spielraumgeschützen vor. Bei den ersteren erstreckt sich die Veränderlichkeit der Breite in der Regel auf die ganze Länge der Züge, die sich von rückwärts gegen vorne zu continuirlich verengen (Keilzüge);* diese Verengung bewirkt das leichtere Einschneiden der umgekehrt keilförmigen Felder in den Führungsmantel bei dem Beginne der Geschossbewegung, wodurch das Maximum der Gasspannung weiter nach vorwärts verlegt und somit ermässigt wird.

Bei den Spielraumgeschützen tritt die veränderliche Zugbreite als locale Zugverengung am inneren Ende der Züge (im Geschossraume) auf, welche durch eine Annäherung der Lade- an die Führungsfläche entsteht;** dies hat den Zweck, die Führungswarzen, welche während des Einführens des Geschosses an der Ladefläche schleifen, an die Führungsfläche zu bringen, wobei die durch den Breitenspielraum der Warzen bedingte geradlinige Bewegung des Geschosses im Anfange, welche ein heftiges Anstossen der Warzen an die Führungsfläche und somit eine Beschädigung derselben zur Folge haben könnte, vermieden wird.

Die *Zugtiefe* wird, um die Rohrwandungen nicht erheblich zu schwächen, sowie um am Geschosse hohe, für die Geschossbewegung

---

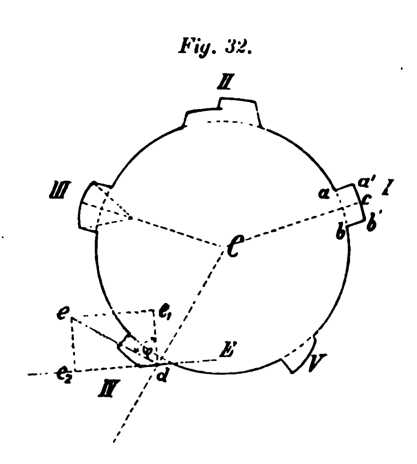
* Siehe erster Theil, erster Abschnitt, gusstählerne Geschütze.

** Siehe erster Theil, 18 c/m Geschütz.

ausserhalb des Rohres nachtheilige Führungsleisten zu vermeiden, möglichst klein gemacht; hiedurch wird ferner bei Geschützen mit Pressionsführung das Einschneiden der Felder in das Führungsmittel erleichtert. Jedoch muss die Zugtiefe mindestens so gross sein, dass das Eingreifen der Führungsleisten in die Züge während der Geschossbewegung im Rohre gesichert erscheint. Hieraus folgt, dass bei Geschützen ohne Spielraum die Zugtiefe eine kleinere sein kann, als bei Spielraumgeschützen.

Die veränderliche Zugtiefe kommt in zwei Formen vor, u. zw. kann die Zugbasis aus zwei Theilen bestehen, welche parallel zu einander in verschiedener Entfernung vom Bohrungskreise laufen, wie beim Zug *II (Fig. 32)*, oder es kann die Basis excentrisch zum Bohrungskreise geführt sein, wie beim Zug *III*; der erstere Zug heisst Doppelzug oder Staffelzug, der letztere excentrischer Zug.

Fig. 32.



3.) **Profil der Züge.** Von der Anordnung der Zugtiefe und der Neigung der Seitenflächen des Zuges hängt das Zugprofil ab. Das einfachste, regelmässigste und am leichtesten herzustellende Zugprofil ist das rechteckförmige *I (Fig. 32)*, in welchem die Seitenflächen *aa'*, *bb'* parallel zum Halbirungsradius *Cc* des Zuges geführt sind und die Zugbasis *a'b'* concentrisch zum Bohrungskreis *ab* lauft (concentrischer Zug): die Zugtiefe ist überall eine gleiche. Dieses Zugprofil wird in der Regel angewendet, wenn die Centrirung des Geschosses durch die Einrichtung der Züge nicht beabsichtigt wird, also bei Geschützen ohne Spielraum, bei welchen die Centrirung durch das Einpressen des Führungsmittels in die Züge erreicht ist. Hingegen wird bei den Spielraumgeschützen den Zügen grösstentheils ein anderes Profil gegeben, um hiedurch eine theilweise oder gänzliche Centrirung des Geschosses zu erzielen. Dies kann auf doppelte Art geschehen:

Durch den Staffelzug (Schiebzug): die Führungsleiste bewegt sich beim Laden des Geschosses in dem tieferen Theile des Zuges,

beim Schusse aber in dem seichteren; der Uebergang der Leiste aus dem einen in den anderen geschieht an einer schiefen Ebene, durch welche am inneren Ende des Zuges der tiefere Zugtheil zum seichteren ansteigt; nachdem der Durchmesser innerhalb der Basen der seichteren Zugtheile dem Durchmesser um die Führungsleisten nahezu entspricht, so bewegt sich das Geschoss centrirt beim Schusse;*

durch die schiefe Stellung der Führungsfläche gegen den Bohrungsradius, Zug *IV (Fig. 32):* der Druck der Führungsleiste gegen die Führungsfläche geschieht tangential, also in der Richtung *de*, senkrecht zum Radius *Cd;* zerlegt man diesen Druck in zwei Componenten de_1 und de_2, so bewirkt die zur Führungsfläche senkrechte Druckcomponente $de_1 = de \cos \varphi$ die Reibung der Leisten an der Führungsfläche, während die Componente $de_2 = de \sin \varphi$ die Leiste in der Richtung *dE* verschiebt, wobei das Geschoss gegen das Bohrungscentrum *C* ausweicht. Nachdem dieses durch den diametral gegenüberliegenden Zug in derselben Weise und in demselben Masse stattfindet, so wird die Geschossaxe während der ganzen Bewegung in der Rohraxe erhalten.

Die centrirende Componente de_2 wäre nur dann nicht vorhanden, wenn $\varphi = 0$ wäre, d. h. wenn die Führungsfläche ganz genau mit dem Bohrungsradius zusammenfallen würde; nachdem dieses selbst beim rechteckförmigen Zuge nicht der Fall ist, so ist eigentlich auch dieser Zug im Princip ein centrirender, nur ist hier die centrirende Componente zu schwach, um die Verschiebung des Geschosses bis zur wirklichen Centrirung zu bewirken. Hiezu ist eine grössere centrirende Componente nöthig, wie sie nur durch die stark geneigte Führungsfläche eines trapezoidalen Zuges erzeugt wird. Die centrirende Function der Führungsfläche kann auch an eine stark excentrische Zugbasis, Zug *V (Fig. 32),* übergehen; jedoch müsste in diesem Falle die Führungsleiste einen solchen Breitenspielraum im Zuge haben, dass sie nicht an die Führungsfläche anstösst, bevor noch das Geschoss centrirt ist. Aus diesem Grunde führt man die Zugbasis bis an den Bohrungskreis, wodurch die Führungsfläche ganz verschwindet (oder besser die Zugbasis zur Führungsfläche wird) und der dreieckförmige

---

* Nach einem ähnlichen Principe sind die Doppelzüge (Sistem Wrede, ältere schwedische Feldgeschütze) construirt. Das Rohr hat drei tiefere und getrennt von diesen drei seichtere Züge, dem entsprechend das Geschoss rückwärts drei höhere, vorne drei niedrigere Warzen; die ersteren bewegen sich mit beträchtlichem Breitenspielraum in den tieferen Zügen, die niedrigeren Warzen aber beim Laden mit normalem Spielraum in den seichteren Zügen; die seichteren Züge laufen rückwärts in eine schiefe Ebene aus, so dass, wenn die höheren (Führungs-) Warzen von der Lade- an die Führungsfläche übergehen, die niedrigeren Warzen aus ihren Zügen nach seitwärts austreten und das Geschoss während der Schussbewegung wenigstens theilweise centriren.

Zug entsteht. Nach dem Princip der centrirenden Züge sind auch die Oval- und die Polygonalbohrung *(Fig. 33* und *34)* construirt; die erstere (Sistem Lancaster) stellt eine Bohrung mit zwei bogenförmig, die letztere (Sistem Whitworth) eine Bohrung mit mehreren geradlinig begrenzten Zügen ohne eigentliche Führungs- und Ladeflächen dar.

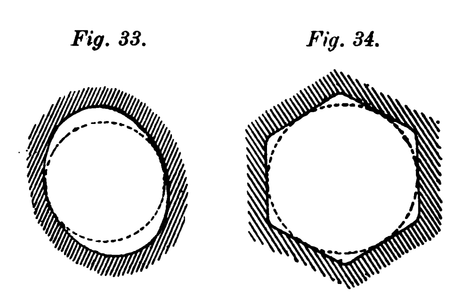


Fig. 33. *Fig. 34.*

4.) Drall der Züge.

Der Drall (Schraubengang) der Züge* bedingt im Verein mit der fortschreitenden Geschwindigkeit des Geschosses die Geschwindigkeit der Rotation. Nachdem diese bestimmt ist, den Flug des Geschosses zu regeln und die Geschossaxe der Bewegungsrichtung zu nähern, so muss die Geschwindigkeit derselben um so grösser, der Drall um so stärker** sein, je mangelhafter die Führung des Geschosses im Rohre ist und je weiter im Geschosse der Angriffspunkt des Luftwiderstandes vor den Geschosschwerpunkt fällt; aus diesem Grunde erhalten Spielraumgeschütze in der Regel einen stärkeren Drall, als Geschütze ohne Spielraum, ebenso muss der Drall stärker sein, wenn beim Geschoss der Schwerpunkt weiter gegen den Geschossboden fällt.

Die einem Geschosse von bestimmter Construction und bestimmter fortschreitender Geschwindigkeit entsprechende günstigste Stärke des Dralles ermittelt man am besten durch praktische Versuche, indem man diejenige Rotationsgeschwindigkeit sucht, bei welcher das Geschoss die relativ grösste Treffwahrscheinlichkeit erhält. Hiebei lässt man gewöhnlich anstatt des Dralles die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses, d. h. die Pulverladung, variiren.*** Bezeichnet C die anfängliche Rotationsgeschwindigkeit eines Punktes am Geschossumfange, V die fortschreitende Anfangsgeschwindigkeit, l die Dralllänge, α den Drallwinkel, r den Radius der Bohrung, so besteht die Gleichung

$$\frac{C}{V} = \frac{2r\pi}{l} = tg\alpha, \text{ daher } C = 2r\pi\frac{V}{l}.$$

---

* Hierunter ist immer der Drall der Mitte der Führungsfläche zu verstehen; der Drall der Ladefläche, welcher bei Parallelzügen gleich jenem der Führungsfläche, bei Keilzügen aber von ihm verschieden ist, hat auf die Geschossbewegung beim Schusse keinen Einfluss, kommt daher hier nicht in Betracht.

** Der stärkere Drall entspricht einem grösseren Drallwinkel und einer kleineren Dralllänge.

*** Dies geschieht aus ökonomischen Gründen, um nicht mehrere Geschützrohre von verschiedenem Drall erzeugen zu müssen.

Bei einem und demselben Rohre (constantes r) ist $C = 2r\pi \frac{V}{l} = 2r\pi \frac{V'}{l'}$, d. h. es kann eine und dieselbe Rotationsgeschwindigkeit durch verschiedene Combinationen von V und l erreicht werden. Ermittelt man durch praktische Versuche diejenige Anfangsgeschwindigkeit V', bei welcher sich mit der dem Versuchsrohre gegebenen Drallänge l' die günstigste Rotationsgeschwindigkeit C ergibt, so folgt die der wirklichen Anfangsgeschwindigkeit V entsprechende günstigste Drallänge l aus der Proportion $\frac{V'}{l'} = \frac{V}{l}$ mit $l = l' \frac{V}{V'}$.

Beispiel. Aus einem 26 cm Geschützrohre ($r = 0 \cdot 13$ m) sollen Geschosse von bestimmter Construction mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 500 m geschossen werden; um den günstigsten Drall zu finden, wird dem Versuchsrohre eine Drallänge von 45 Kalibern ($l' = 45 \cdot 2r = 11 \cdot 7$ m) gegeben. Die abgeführten Treffähigkeitsversuche zeigen, dass sich die beste Treffsicherheit ergibt, wenn die Anfangsgeschwindigkeit 450 m beträgt. Hieraus folgt für die wirkliche Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses die günstigste Drallänge $l = \frac{500}{450} \cdot 11 \cdot 7$ m $= 13 \cdot 00$ m $= 50$ Kaliber. Für den Drallwinkel ist $tg\alpha = \frac{0 \cdot 26\pi}{13 \cdot 00} = \frac{\pi}{50}$, woraus $x = 3^0\ 36'$ folgt. —

Bezüglich der Grundsätze, nach welchen sich der günstigste Drall ändert, wenn die Einrichtung des Geschosses eine Aenderung erleidet, dient folgende theoretische Erwägung. Infolge des Zusammenhanges, welcher zwischen der Rotation um die Längenaxe und der durch den Luftwiderstand hervorgerufenen Anregung zur Drehung des Geschosses um die darauf senkrechte Queraxe besteht, müssen bei der günstigsten Rotationsgeschwindigkeit die lebendige Kraft der Rotationsbewegung und das Drehmoment des Luftwiderstandes in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen; dies wird durch den constanten Coëfficienten n in der Gleichung $M' = nM$ ausgedrückt, wenn M' die lebendige Kraft der Rotation, M das Moment des Luftwiderstandes bedeutet. Werden für die Anfangsgeschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung und der Rotation, sowie für die Drallänge, den Drallwinkel und den Bohrungs- (Geschoss-) Radius die obigen Bezeichnungen beibehalten, bedeutet $W = \frac{r^2\pi V^2}{2g} \cdot \sigma$ den Luftwiderstand (quadratisches Luftwiderstandsgesetz, σ Eigengewicht der Luft), λ die senkrechte Entfernung der Luftwiderstands-Resultante vom Geschosschwerpunkte, μ die auf den Umfang reducirte Masse des Geschosses bezüglich der Drehung um die Längenaxe, so ist an der Mündung: $M' = \mu C^2$, $M = W\lambda$, daher $\mu C^2 = nW\lambda$.

Bezeichnet man ferner mit m die Geschossmasse, mit ω das Volumen des Geschosses, mit Δ die Länge eines Cylinders, welcher dasselbe Volumen wie das Geschoss hat, mit δ die Dichte der Geschossmaterie, in dem ganzen Volumen gleichmässig vertheilt gedacht,* und nimmt $\mu = \nu m$ an, so ist $M' = \nu m C^2 = \nu \frac{r^2\pi\Delta}{g} \delta C^2$, daher besteht die Gleichung

$$\frac{\nu r^2\pi\Delta}{g} \delta C^2 = n \cdot \frac{r^2\pi}{2g} \sigma\lambda V^2, \text{ woraus } tg\alpha = \frac{2r\pi}{l} = \frac{C}{V} = \sqrt{\frac{n\sigma}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{\nu\Delta\delta}} \text{ folgt.}$$

* Für Vollgeschosse ist δ die Dichte des Geschossmaterials selbst, für Hohlgeschosse aber kleiner als diese.

Nachdem n als der ermittelte günstigste Werth constant bleiben muss und σ constant ist, so ändert sich α durch Variation eines der Werthe ν, λ, Δ und δ. Hieraus ergeben sich folgende Folgerungen:

α) Wenn λ* zunimmt, ohne dass sich die übrigen Grössen ändern, so muss α grösser werden (wie schon oben bemerkt).

β) Lässt man Δ (die Geschosslänge) wachsen, vorausgesetzt, dass dies ohne Aenderung von λ möglich wäre, so nimmt α ab, d. h. ein längeres Geschoss, bei welchem jedoch die Entfernung des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vom Schwerpunkte ebenso gross ist, wie bei einem kürzeren, würde einen schwächeren Drall erfordern als das letztere. Nachdem aber bei einer Verlängerung des Geschosses, ohne Aenderung seiner sonstigen Construction (ν und δ), auch λ zunimmt und dieses ein Grösserwerden von α bedingt, so ist der Einfluss der Verlängerung des Geschosses auf α ein zweifacher; bei nicht zu grosser Aenderung der Länge kann angenommen werden, dass λ in demselben Verhältnisse wie Δ zunimmt, d. h. dass $\lambda = \gamma\Delta$ ist, wobei γ einen constanten Factor bezeichnet, woraus folgt, dass durch die blosse Verlängerung des Geschosses der günstigste Drallwinkel nicht alterirt wird. Bei grösserer Aenderung der Geschosslänge wird, weil der Luftwiderstand (Luftverdichtung) hauptsächlich auf den Geschossvordertheil wirkt, λ im grösseren Verhältnisse zunehmen als Δ, daher die Verlängerung des Geschosses im Allgemeinen einen stärkeren Drall bedingen.

γ) Wenn einer der Werthe ν und δ oder das Product $\nu\delta$ ohne Aenderung der anderen Grössen vergrössert oder verkleinert wird, so muss α kleiner, beziehungsweise grösser werden. Daher erfordert von zwei gleich construirten Geschossen (gleiches ν) das aus einem leichteren Material erzeugte (kleineres δ) einen stärkeren, — von zwei Geschossen von gleicher durchschnittlicher Dichte (δ) dasjenige, dessen an den Umfang reducirte Masse (ν) grösser ist, einen schwächeren Drall. Diese beiden Momente treffen zusammen, wenn man ein Hohlgeschoss mit einem, äusserlich gleich construirten und aus demselben Materiale erzeugten Vollgeschoss vergleicht, wie nachstehende Betrachtung eines vollen und eines mit dem Radius r_1 ausgehöhlten Cylinders zeigt. Ist δ das specifische Gewicht des Materials, so ist $r^2\pi\Delta\delta$ das Gewicht des vollen Cylinders und $(r^2 - r_1^2)\pi\Delta\delta$ jenes des hohlen, daher die durchschnittliche Dichte des letzteren $\delta' = \frac{(r^2 - r_1^2)\pi\Delta}{r^2\pi\Delta}\delta = \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2}\right)\delta$; nachdem somit $\delta' < \delta$, so erfordert in dieser Beziehung das Hohlgeschoss einen stärkeren Drall als das Vollgeschoss. Andererseits ist das Trägheitsmoment des vollen Cylinders $\frac{1}{2}mr^2$, daher $\mu = \frac{\frac{1}{2}mr^2}{r^2} = \frac{1}{2}m$ und $\nu = \frac{1}{2}$, das Trägheitsmoment des hohlen Cylinders $\frac{1}{2}m'(r^2 + r_1^2)$, daher $\mu' = \frac{1}{2}\frac{m'(r^2 + r_1^2)}{r^2} = \frac{1}{2}m'\left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right)$ und $\nu' = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right)$; da sonach $\nu' > \nu$, so müsste das Hohlgeschoss aus diesem Grunde, wenn die Differenz der

---

* Unter λ kann, nachdem es sich um blosse Relationen handelt, anstatt des senkrechten Abstandes der Luftwiderstands-Resultanten der in der Geschossaxe gemessene Abstand des Angriffspunktes des Luftwiderstandes vom [illegible]werpunkte verstanden werden

Dichten ausser Betracht bleibt, einen schwächeren Drall bedingen. Nachdem aber $\nu'\delta' = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{r_1^4}{r^4}\right)\delta = \left(1 - \frac{r_1^4}{r^4}\right)\nu\delta$, somit $\nu'\delta' < \nu\delta$ ist, d. h. da dem Hohlgeschoss nicht nur eine kleinere Masse überhaupt ($m' < m$) zukommt, sondern auch die auf den Umfang reducirte Masse kleiner ist ($\mu' < \mu$), so erfordern Hohlgeschosse im Allgemeinen einen stärkeren Drall als Vollgeschosse.* —

Das Vorangeführte setzt voraus, dass sich die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses (V) nicht ändert. Durch eine Aenderung von V wird der mit Berücksichtigung der auf die Geschossconstruction bezüglichen Factoren ermittelte günstigste Drall insoferne verändert, als ein grösseres V ein kleineres α zur Folge hat.

In einem Geschützsistem, d. h. in einer Reihe von Geschützkalibern, in welcher sowol die Geschützrohre als die Geschosse nach einem einheitlichen Princip construirt sind und die letzteren auch gleiche Anfangsgeschwindigkeiten erhalten, sind V, ν und δ constante Grössen, während Δ in der Form $\Delta = \varepsilon r$, λ aber in der Form $\lambda = \gamma\Delta = \gamma\varepsilon r$ erscheint, wobei ε und γ constante Grössen bezeichnen. Demnach ist $tg\,\alpha = \frac{C}{V} = \sqrt{\frac{n\sigma\gamma}{2\nu\delta}}$ durch ausschliesslich constante, durch den Unterschied der Kaliber nicht berührte Grössen ausgedrückt, d. h. in einem Geschützsistem erhalten alle Geschütze ohne Unterschied des Kalibers einen gleich starken Drall: der Drallwinkel und die in Kalibern ausgedrückte Drallänge sind bei allen Geschützen gleich, die im Längenmass ausgedrückte Drallänge steigt mit dem Kaliber.

Der veränderliche Drall kommt als von rückwärts gegen die Mündung zu ansteigender oder Progressivdrall vor; die Rotationsgeschwindigkeit, welche das Geschoss erlangt, entspricht dem Dralle, welchen das Geschütz an der Mündung hat. Nachdem durch den Drall überhaupt die fortschreitende Bewegung des Geschosses verzögert wird, so hat die beim Progressivdrall stattfindende Verkleinerung des Dralles von vorne gegen rückwärts den Zweck, ohne Verlust an schliesslicher Rotationsgeschwindigkeit diese Verzögerung der Vorwärtsbewegung überhaupt, insbesondere aber im Beginn der Bewegung zu vermindern, wodurch der Raum für die Ausbreitung des Gases der im Ladungsraume verbrennenden Pulverladung rascher erweitert, daher das Maximum der Gasspannung vermindert wird.**

---

* Dieser für Hohlgeschosse überhaupt giltige Grundsatz kann aber wesentlich alterirt werden, wenn durch die Aushöhlung der Schwerpunkt weiter nach vorwärts verlegt, also λ verkleinert wird, wie bei den Panzergranaten, bei welchen sich die Aushöhlung hauptsächlich im Geschosshintertheil befindet.

** Der Progressivdrall hat also im Wesentlichen denselben Zweck, wie die Keilform der Züge.

Grösstentheils ist der Drallwinkel am Anfang der Züge = 0 und wächst stetig bis zur Mündung; jedoch kann der Anfangsdrallwinkel > 0 sein, sowie vor dem Erreichen der Mündung der Progressivdrall in einen constanten Drall übergehen.*

Der Progressivdrall unterscheidet sich geometrisch vom constanten Drall dadurch, dass auf der aufgerollten Mantelfläche des Bohrungscylinders die Zugkante bei dem ersteren eine Curve, bei dem letzteren aber eine Gerade bildet. Bekanntlich benennt man die specielle Art des Progressivdralles nach der Natur der Drallcurve; untersucht man das Gesetz, nach welchem die Drallwinkel zunehmen, so findet man, wenn der Ursprung der Coordinaten in jenem Punkte angenommen wird, wo die Drallcurve die Erzeugende des Cylinders berührt, wo also der Drallwinkel = 0 ist:

für kreisförmigen Drall: die Gleichung der Drallcurve ist

$$(R-x)^2 + y^2 = R^2, \text{ daher } tg\,\alpha = \frac{dx}{dy} = \frac{y}{Rx} = \frac{y}{\sqrt{R^2-y^2}};$$

für ellyptischen Drall: Gleichung der Drallcurve:

$$a^2(b-x)^2 + b^2y^2 = a^2b^2, \text{ daher } tg\,\alpha = \frac{b^2}{a^2}\cdot\frac{y}{b-x} = \frac{b}{a}\cdot\frac{y}{\sqrt{a^2-y^2}};^{**}$$

für parabolischen Drall: Gleichung der Drallcurve:

$$y^2 = px, \text{ daher } tg\,\alpha = \frac{2}{p}.y.$$

Wie man sieht, ergibt sich beim parabolischen Drall das einfachste Gesetz für die Zunahme des Drallwinkels: die trig. Tangente des letzteren, und für kleine Winkel dieser selbst, steigt in demselben Verhältnisse, in welchem die in der Rohraxe gemessene Entfernung des bezüglichen Punktes vom Anfangspunkte (wo $\alpha = 0$ ist) zunimmt. Aus diesem Grunde wird der parabolische Drall auch gleichmässig ansteigender Drall genannt und vorzugsweise als Progressivdrall angewendet.

5.) **Durchmesser und Länge des Fluges.** Der Durchmesser des Fluges*** der Bohrung wird etwas grösser gemacht, als der Durchmesser des eisernen Geschosskörpers, um die Reibung des letzteren an den Bohrungswänden zu vermeiden (Isolirung des Geschosses); der Abstand zwischen Geschoss und Bohrung, der Spielraum des Geschosskörpers, wird bei Geschossen mit Mantel- und Ringführung durch das Führungsmittel ausgefüllt. Aus leicht begreiflichen Gründen trachtet man, den Spielraum so klein als möglich zu machen; jedoch findet dies bei Geschossen mit Mantel-

---

* Siehe erster Theil, broncenes 15 cm Geschütz.

** Der hyperbolische Drall gibt für $tg\,\alpha$ einen Ausdruck von ähnlicher Form.

*** Unter Durchmesser des Fluges schlechthin wird bei gezogenen Geschützen der Durchmesser zwischen den Feldern verstanden.

und Ringführung an der unumgänglich nothwendigen Dicke des Führungsmittels, bei Geschossen mit Leisten- oder Warzenführung daran eine Grenze, dass die Leisten (Warzen) selbst nach dem Geschossdurchmesser einen Spielraum haben müssen, der kleiner als der Spielranm des Geschosskörpers sein muss.

Von der Länge des Fluges hängt die Geschwindigkeit ab, welche das Geschoss durch eine bestimmte Pulverladung an der Mündung erhält: je länger die Bohrung, welche das Geschoss zu durchlaufen hat, desto mehr Impulse bekommt dasselbe zur Vorwärtsbewegung, wodurch seine Geschwindigkeit fortwährend gesteigert wird, selbst wenn der Druck des Pulvergases abnimmt, — bis das Geschoss einen Punkt erreicht, wo der Druck des Pulvergases eben noch den Widerständen für die Geschossbewegung das Gleichgewicht hält, wo also die treibende Kraft Null ist. Darüber hinaus wird bei continuirlich abnehmendem Gasdruck dieser kleiner als die Bewegungswiderstände, daher die treibende Kraft negativ; infolge dessen tritt eine Verzögerung, also eine Verminderung der Geschwindigkeit ein. Um daher die Pulverkraft vollständig auszunützen, müsste die Mündung mit dem Punkte zusammenfallen, wo die treibende Kraft Null ist: dies wäre die günstigste Rohrlänge und zugleich die obere Grenze derselben. In der Regel wird nicht bis an diese Grenze gegangen, — aus praktischen Gründen, nämlich aus Rücksicht auf das Rohrgewicht, auf den beschränkten Aufstellungsraum, auf die Handhabung und Bedienung des Geschützes etc.

Jedoch darf die Rohrlänge auch nicht zu klein sein, wobei aus Ursache der zu geringen Ausnützung der Pulverkraft die Pulverladung behufs Erreichung einer entsprechenden Geschwindigkeit zu viel gesteigert werden müsste, sowie die Führung des Geschosses und die Erlangung der Rotation unsicher würde.

Nimmt man ein bestimmtes Ausnützungsverhältniss der Pulverkraft durch die Rohrlänge an, so wird sich sowol die Pulverladung als auch die Rohrlänge nach der beabsichtigten Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses richten müssen. In dieser Beziehung unterscheidet man drei Gattungen von Geschützrohren: Kanonen, Haubitzen und Mörser. Die Kanonen sind Geschütze für den horizontalen oder directen Schuss, nämlich solche, aus welchen die Geschosse mit grosser Geschwindigkeit abgehen, um mit möglichst kleinen Elevationen grosse Distanzen zu erreichen, wobei sie sich verhältnissmässig we über den Horizont erheben und das Ziel (die verticale Deckt

auf directe Weise treffen; die Haubitzen sind Geschütze für den indirecten oder Bogenschuss, mit welchem verticale Deckungen überschossen werden, — nachdem hiezu eine grössere Erhebung des Geschosses über den Horizont, also eine grössere Rohrelevation nothwendig ist, so muss das Geschoss zur Erreichung einer bestimmten Distanz mit kleinerer Geschwindigkeit abgehen, als bei den Kanonen; die Mörser sind Geschütze für den verticalen Schuss zum Durchschlagen von horizontalen Deckungen, wobei die Geschosse in möglichst verticaler Richtung niederfallen, also sich sehr hoch erheben müssen, was grosse Elevationen, daher zur Erreichung einer bestimmten Distanz kleine Geschwindigkeiten erfordert. Sonach haben die Kanonen grosse Längen und grosse Ladungen, die Haubitzen mittlere Längen und mittelgrosse Ladungen, die Mörser kleine Längen und kleine Ladungen.

Als Grenze zwischen den Kanonen und den Haubitzeu kann die Fluglänge von 10 Kaliber, als Grenze zwischen den Haubitzen und den Mörsern aber eine Fluglänge von 6 Kaliber angenommen werden.

Wegen der Bezeichnung »Wurf«, welche dem Bogenschuss beigelegt wird, führen die Haubitzen und Mörser die Collectivbenennung Wurfgeschütze. Gegenwärtig finden die Wurfgeschütze, insbesondere die Haubitzen, eine sehr beschränkte Anwendung, da man nöthigenfalls auch aus Kanonen Würfe machen kann, zu welchem Zweck man solchen Kanonen nebst ihrer Schussladung noch eine oder mehrerere kleinere Ladungen (Wurfladungen) gibt. Selbstverständlich kann die Kanone allenfalls die Haubitze, aber niemals den Mörser ersetzen.

b) Der Geschossraum.

Der Geschossraum, als eigener Theil der Bohrung, kommt in der Regel nur bei Hinterladgeschützen vor. Er hat den Zweck, das Geschoss, welches beim Laden mit Spielraum durch den Ladungsraum gehen muss, zu centriren, damit es beim Schusse in der für seine Bewegung günstigsten Weise in den Flug eintritt. Zu diesem Zweck ist der Durchmesser des Geschossraumes etwas grösser, als jener des Fluges, und etwas kleiner, als jener des Ladungsraumes; nachdem im Ladungsraume die Geschossaxe infolge des Spielraumes unter die Rohraxe fallen muss, so wird durch den Uebergang des Geschosses in den engeren Geschossraum dessen Axe gegen die Rohraxe gehoben. Dieses Emporheben der Geschossaxe wird nicht bis zur vollkommenen Centrirung gehen können, im Falle das Führungsmittel (Mantel oder Ringe) ebenfalls vollständig in den Geschossraum eintritt, weil der Durchmesser des letzteren alsdann etwas grösser sein muss, als der

grösste Geschossdurchmesser, über das Führungsmittel gemessen; nachdem der letztere, damit im Fluge der Spielraum vollständig aufgehoben werde, nicht kleiner sein darf, als der Flugdurchmesser zwischen den Zügen, so folgt, dass bei dieser Anordnung der Durchmesser des Geschossraumes noch etwas grösser sein muss, als der Durchmesser zwischen den Zügen, d. h. dass sich die Züge nicht bis in den Geschossraum erstrecken können, dass dieser also glatt bleibt. Durch den glatten Geschossraum* findet daher keine vollkommene Centrirung des Geschosses statt.

Ist hingegen der Geschossraum gezogen, d. h. ist der Durchmesser desselben kleiner, als jener zwischen den Zügen, so dass sich diese in den Geschossraum fortsetzen und in dem Uebergangsconus zwischen diesem und dem Ladungsraume auslaufen, — so kann das eigentliche Führungsmittel nicht in den Geschossraum eintreten, sondern nur bis an diesen heranrücken. Der gezogene Geschossraum kommt daher nur für Geschosse mit der als Bandführung bezeichneten speciellen Form der Ringführung in Anwendung. Bei dieser ist zur Führung in den Zügen ein breiter Ring, das Führungsband, in der Nähe des Geschossbodens angebracht, während sich am Vorderende des cylindrischen Geschosstheiles ein zweites Band, Centrirband, befindet, dessen Durchmesser nur um sehr Geringes grösser ist als der Flugdurchmesser, so dass dieses Band in den Geschossraum und das Führungsband in den Conus zwischen Geschoss und Ladungsraum eintreten kann, wodurch eine möglichst vollkommene Centrirung des Geschosses geschieht.**

c) Der Ladungsraum.

Der normale Ladungsraum ist ein glatter, zum Flug concentrischer Cylinder, dessen Durchmesser bei Vorderladern gleich dem Flugdurchmesser, bei Hinterladern aber um so viel grösser als dieser ist, dass das Geschoss bequem bis an den Flug eingeführt werden kann. Die normale Länge des Ladungsraumes ergibt sich aus dem Rauminhalte, welcher zur Aufnahme der sistemisirten Pulverladung nothwendig ist; hiebei muss jedoch auf den unvermeidlichen Spiel-

* Einen glatten Geschossraum hat unter den Marinegeschützen nur das $9\,^{c}/_{m}$ Geschütz (siehe erster Theil, erster Abschnitt), wo er durch die Führungsringe, welche alle von gleichem Durchmesser sind, bedingt ist.

** Siehe *Fig.* 4 im ersten Theil, $28\,^{c}/_{m}$, broncene $15\,^{c}/_{m}$ und gusstählerne $15\,^{c}/_{m}$ Geschütze neuer Construction.

raum der Patrone Rücksicht genommen werden.* Abweichungen von dieser normalen Einrichtung des Ladungsraumes kommen folgende vor:

1.) Der excentrische Ladungsraum, bei Hinterladern ohne eigenen Geschossraum, zur Centrirung des Geschosses beim Einführen: die Axe des Ladungsraumes ist um so viel höher gelegt als die Flugaxe, dass die Geschossaxe schon während des Einführens mit der Flugaxe zusammenfällt.**

2.) Der Ladungsraum von grösserem als normalen Rauminhalte zur Herabminderung der Gasspannung; der grössere Rauminhalt kann durch Verlängerung des Ladungsraumes mit Beibehaltung des normalen Durchmessers, oder durch Vergrösserung des Durchmessers bei normaler Länge, oder schliesslich durch Vergrösserung dieser beiden Dimensionen erzielt werden.

3.) Der Ladungsraum von kleinerem Durchmesser als der Flug, bei Vorderladgeschützen*** mit kleinen Ladungen (insbesondere Mörsern), um der Patrone eine entsprechende Länge geben zu können. Der Uebergang vom Flug in den Ladungsraum (die Wölbung) ist entweder conisch oder halbkugelförmig. Hieher gehört auch der seiner ganzen Länge nach conisch gestaltete Ladungsraum.

Eine (geringfügige) Abweichung von der streng cylindrischen Form des Ladungsraumes besteht auch im halbkugelförmigen, kugelhaubenförmigen oder conischen Abschlusse derselben am Stossboden; jedoch findet diese Anordnung gegenwärtig nur vereinzelt eine Anwendung.

Der Name »Kammer« wird im Allgemeinen dem Ladungsraum gegeben, wenn er sich als eigener Bohrungstheil vom Flug auch geometrisch unterscheidet, u. zw. entweder durch seinen Durchmesser oder durch seine Einrichtung. Bei den glatten Geschützen, bei welchen von einer besonderen Einrichtung des Fluges (wie sie gegenwärtig durch die Züge charakterisirt ist) nicht die Rede war, konnte die Kammer nur durch einen vom Flugdurchmesser verschiedenen (in der Regel kleineren) Durchmesser entstehen; man nannte solche Geschütze speciell Kammergeschütze; die Mörser waren ausschliesslich, die Haubitzen grösstentheils Kammergeschütze, die Kanonen aber in der Regel Nichtkammergeschütze. Diese Unterscheidung hatte weiters den Sinn, dass bei Kammergeschützen der

* Der Durchmesserspielraum wird bei cylindrischen Patronen mit ungefähr ein Zehntel des Kalibers angenommen; zur Länge muss ein entsprechendes Stück hinzugeschlagen werden, um dem Patronenbund und den eventuellen Abweichungen in der Patronenlänge Rechnung zu tragen.

** Siehe erster Theil 24%m, 26%m und gusstählerne 15%m Geschütze älterer Construction.

*** Diese Anwendung könnte bei Hinterladgeschützen nur gegeben werden, wenn der Ladungsraum in den Verschluss verlegt würde.

Ladungsraum einen unveränderlichen Rauminhalt hat, nachdem das Geschoss nicht in die engere Kammer eintreten, sondern beim Laden nur bis an diese angeschoben werden kann, daher (vorausgesetzt, dass die Patrone nicht länger ist als die Kammer) stets dieselbe Lage im Rohre einnimmt; während bei Nichtkammergeschützen dieser Rauminhalt von der Länge der Patrone abhängt.* — Die gezogenen Geschütze sind strenge genommen sämmtlich Kammergeschütze, nachdem bei ihnen das Geschoss principiell stets in eine und dieselbe Position eingeführt wird; jedoch macht man auch da häufig die Unterscheidung zwischen Kammergeschützen und Nichtkammergeschützen, indem man die Benennung »Kammer« auf jene Ladungsräume beschränkt, welche einen vom normalen abweichenden Durchmesser haben.

Bei den Geschützen neueren Sistems, insbesondere jenen grossen Kalibers, wo im Interesse der genügenden Widerstandsfähigkeit des Rohres auf die möglichste Herabminderung der Gasspannung hingewirkt wird, bildet der vergrösserte Ladungsraum die Regel. Diese Vergrösserung wird meistens durch Steigerung der Länge bei normalem Durchmesser erzielt; jedoch wird neuestens das andere Princip: Vergrösserung des Kammerdurchmessers, um bei einer durch die Praxis bedingten Rohrlänge nicht an Fluglänge einzubüssen, — in Anwendung gebracht. Diese letzteren Geschütze mit erweitertem Ladungsraum werden vorzugsweise »Kammergeschütze« genannt.

II. Wandstärke des Geschützrohres.

Die Wandstärke des Geschützrohres muss an jeder Stelle eine derartige sein, dass das Rohr nicht nur dem an dieser Stelle auftretenden grössten Gasdrucke mit Sicherheit widersteht, sondern auch, dass die durch diesen Druck hervorgerufene momentane Erweiterung der Bohrung durch die Elasticität des Materials aufgehoben wird, daher das Rohr in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt, nachdem der Gasdruck aufgehört hat. Die letztere Anforderung ist dadurch bedingt, dass sonst, — wenn nach dem Aufhören des Gasdruckes eine Bohrungserweiterung zurückbleiben würde, welche sich bei jedem weiteren Schusse vergrössert, — einerseits die Führung des Geschosses im Rohre (daher die Treffsicherheit) leiden, andererseits das Material bald an der Grenze seiner Festigkeit anlangen und dann das Rohr zerspringen würde.

---

* Eine eventuell beabsichtigte Vergrösserung des Ladungsraumes konnte demnach bei Nichtkammergeschützen nur unabhängig von der Rohrconstruction durch Verlängerung der Patrone, bei Verminderung ihres Durchmessers, erreicht werden; dies führte bei den glatten Kanonen zur Anwendung der sogenannten allongirten Patronen.

[illegible] mit [illegible]
[illegible] seiner
[illegible]
[illegible]

[illegible] Zeit nach-
[illegible] weil die
[illegible] ein-
[illegible] die Be-
[illegible] nur sehr
[illegible] An-
[illegible] Zurück-
[illegible] können.
[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] Einwirkung
[illegible] ein.
[illegible] der [illegible]
[illegible]

[illegible] flüssige
[illegible] eine [illegible]
[illegible]
[illegible]

[illegible] von [illegible]
[illegible] und Zinn. [illegible]
[illegible] welche
[illegible] worden sind:
[illegible] weil
[illegible] genommen wird, ferner
[illegible]

[illegible] wie oben bemerkt
[illegible] ge-
[illegible] des Rohres in
[illegible] als ein sprödes:
[illegible] eventuelle Anschläge
[illegible] angewandt werde:
[illegible] Struktur und Zusammen-
[illegible] gleichmässige sei und das
[illegible] Stichflammen besser
[illegible] des angewendeten Kohlenstoffes
[illegible] genannte Ausbrennungen
[illegible]

keine chemische Verwandtschaft zu den Verbrennungsproducten des Pulvers, um nicht durch die damit bedingte chemische Reaction deteriorirt zu werden.

Von den oben angeführten Materialien steht, was Festigkeit und Homogenität anbelangt, der überschmiedete Gusstahl obenan; da derselbe überdies eine bedeutende Härte und genügende Zähigkeit besitzt, so findet er zur Erzeugung von schweren Geschützen, welche einem hohen Gasdrucke ausgesetzt werden müssen, vorzugsweise Verwendung. Das Schmiedeisen eignet sich wegen seiner grossen Zugfestigkeit und Zähigkeit ebenfalls für schwere Geschütze; nachdem es aber zu weich ist, so wird in ein aus demselben hergestelltes Rohr gewöhnlich eine Bohrungsröhre aus einem härteren Metall (grösstentheils Gussthal) eingezogen. Das auf gewöhnliche Art (durch Giessen in Sandformen) hergestellte Gusseisen hat zwar grosse Härte und Druckfestigkeit, aber eine geringe Zugfestigkeit und Homogenität und ist überdies sehr spröde; aus diesem Grunde eignet es sich nur zur Herstellung von Rohren, in welchen ein kleiner Gasdruck herrscht. Dasselbe gilt auch von der auf gewöhnliche Art hergestellten — ordinären — Bronce, welche zwar alle Eisensorten an Zähigkeit übertrifft, aber eine geringe Härte und eine kleinere Zugfestigkeit als selbst das Gusseisen hat. Jedoch ist zu bemerken, dass gerade bei der Bronce als Geschützmaterial die grosse Zähigkeit eine, über die für dauernde Belastungen giltige Elasticitätsgrenze gesteigerte Beanspruchung zulässt. Ueberdies lässt sich bei Gussmetallen durch Giessen in Metallformen (Coquillenguss) die Festigkeit und Härte überhaupt, sowie durch ein eigenthümliches Verfahren bei Herstellung von Röhren (Hohlguss mit innerer Abkühlung, wovon später ausführlicher gehandelt wird) die Widerstandsfähigkeit derselben gegen inneren Druck erhöhen. Die grosse Zähigkeit der Bronce macht sie zu einem weiteren Fabricationsverfahren (Walzen von innen)* geeignet, wodurch eine fernere, sehr bedeutende Steigerung der Festigkeit und Härte erzielt wird, so dass die auf diese Art bearbeitete Bronce in die Reihe der zu schweren Geschützen geeigneten Materien eingetreten ist. Zu dieser Fabrication wird ausschliesslich die sogenannte Stahlbronce verwendet, welche sich von der ordinären Bronce durch den Zinngehalt: 8 % bei der Stahlbronce, 10 % bei der ordinären Bronce, unterscheidet, der eine grössere Homogenität zur Folge hat; auch wird die Stahlbronce stets durch Coquillenguss hergestellt, wie die ordinäre Bronce durch gewöhnlichen Guss.

Bronce sowol als Eisen haben keine chemische Verwandtschaft zu den Verbrennungsproducten des Pulvers.

Andere Metalle, deren Heranziehung zur Erzeugung der Geschützrohre versucht wurde, welche aber bis jetzt nur eine beschränkte Anwendung gefunden haben, wie Phosphorbronce, Bessemer- und Martinstahl, Whitworth'sches Homogeneisen etc., können hier füglich ausser Betracht bleiben.

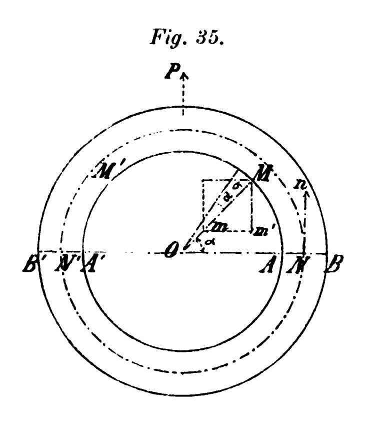
---

* Dies geschieht, wie weiters auseinandergesetzt werden wird, in der Absicht, die inneren Schichten zu verdichten, daher das Rohr schon bei der Fabrication in einen Zustand zu versetzen, in welchen es sonst durch den Gasdruck beim Schiessen überführt werden würde, welch letzteres jedoch mit einer Erweiterung der Bohrung verbunden wäre.

a) Wirkung des Seitendruckes.

Der auf die Seitenwandungen der Bohrung wirkende Gasdruck, Seitendruck, strebt ein Aufreissen des Rohres nach der Länge, d. h. in jedem Rohrquerschnitte *(Fig. 35)*, die Trennung des molecularen Zusammenhanges nach einem Durchmesser BB' an. Auf diese Trennung arbeiten alle Druckcomponenten hin, welche in die zu BB' senkrechte Richtung fallen.

Fig. 35.



Bezeichnet p den grössten in einem Bohrungsabschnitte von der Länge l und vom Radius r auftretenden Druck des Pulvergases auf die Flächeneinheit,* so wirkt in einem bestimmten Punkte M des Querschnittes von diesem Drucke Mn nur die Componente Mn' auf das Aufreissen nach BB'. Ist α der Neigungswinkel des Radius OM gegen OB, so ist $Mn' = p \sin \alpha$: demnach beträgt der wirkliche Druck auf den elementaren Flächenstreifen von der Länge l und der Breite $r\,d\alpha$ (innerhalb welches derselbe als constant gilt) $plr \sin \alpha\, d\alpha$, und der ganze auf das Aufreissen nach BB' hinarbeitende Druck auf den oberen Halbcylinder $AMM'A'$ ist

$$P = lrp\int_0^{\pi} \sin\alpha\, d\alpha = -rlp(\cos\pi - \cos o) = 2rlp,$$

d. h. der Druck P ist genau so gross, als ob die Spannung p auf eine ebene Fläche von der Breite des Bohrungsdurchmessers ($2r$) wirken würde.** Die Einwirkung der Druckkraft P auf die Molecule des Längenschnittes von der Länge l und der Breite $AB + A'B'$ ist dieselbe, wie die einer gleich grossen im umgekehrten Sinne angrei-

* Dieser Druck wirkt normal zur Bohrungsfläche, also in jedem Querschnitte in der Richtung des Radius. Ist p' die grösste Gasspannung an der betreffenden Stelle, in Atmosphären ausgedrückt, so ist die Spannung p in $^{k}/_{g}$ auf 1 $\square^{c}/_{m} = 1 \cdot 03\, p'$.

** Der gleich grosse Druck auf den unteren Halbcylinder kann hier nicht in Anschlag kommen, da er nur den Gegendruck bildet, welcher eben erst das Aufreissen durch den Druck P möglich macht; denkt man sich diesen Gegendruck hinweg, so könnte kein Aufreissen stattfinden, sondern es würde das ganze Rohr in der Richtung des Druckes P fortbewegt werden.

fenden Zugkraft, sie bringt nämlich eine Ausdehnung des Materials in der zu BB' senkrechten Richtung hervor; diese Ausdehnung darf an keiner Stelle des in Betracht gezogenen Längenschnittes diejenige übersteigen, welche der grössten zulässigen Belastung des Materials entspricht. Ob dieses stattfindet, wird von der Art und Weise abhängen, in welcher die Kraft P auf die verschiedenen Theile des Längenschnittes als Zugbelastung sich vertheilt. Die Vertheilung nach der Länge ist eine gleichmässige, weil vorausgesetzt wurde, dass in jedem Querschnitte des in Betracht stehenden Bohrungstheiles eine und dieselbe Gasspannung p herrscht. Nimmt man an, dass eine solche gleichmässige Vertheilung auch auf die Breite, nämlich auf die nach dem Radius verschiedenen Schichten von A bis B (beziehungsweise von A' bis B'), daher auf den ganzen Längenschnitt stattfindet, und dass auf die Flächeneinheit des letzteren die Zugbelastung q entfällt, so müsste die totale Zugbelastung $Q = 2(R - r)lq$ (R Radius OB der äustersten Schichte) der Kraft P gleich sein, was auf die Gleichung

$$2rlp = 2(R - r)lq$$

führt. Nimmt man ferner an, dass das Rohr in allen Theilen von gleicher Festigkeit (isotrop) ist, und bezeichnet e die grösste zulässige Belastung des Materials auf die Flächeneinheit, so wäre die Gesammtbelastung, welche das Rohrstück von der Länge l auf die Dauer ertragen könnte, d. h. die totale Widerstandsfähigkeit desselben gegen bleibende Veränderungen, $W = 2(R - r)le$. Nach Obigem darf die wirklich stattfindende Beanspruchung q die Grenze e nicht übersteigen, jedoch bedingt die beste Ausnützung der Materialfestigkeit, dass $q = e$ gemacht werde. Bei der vorausgesetzten gleichmässigen Beanspruchung aller Theile des Rohrstückes bis zur zulässigen Belastungsgrenze wäre also $Q = W$, woraus die Gleichung

$$2rlp = 2(R - r)le$$

folgen würde; aus dieser würde sich einerseits die der Gasspannung p entsprechende Wandstärke $(R - r)$ des Rohres, andererseits die maximale Gasspannung p, welcher das Rohr von der Wandstärke $(R - r)$ ausgesetzt werden könnte, ergeben.

Die vorausgesetzte gleichmässige Vertheilung der Zugbelastung P auf die radial verschiedenen Schichten in einem und demselben Querschnitte, welche eine gleiche specifische Belastung q bedingen würde, findet jedoch nicht statt, denn die gleiche specifische Belastung würde bei isotropem Material eine gleichmässige tangen-

tiale relative Ausdehnung* aller Schichten zur Folge haben, die wegen der cylindrischen Form des Rohres und nach der Art der Einwirkung des Druckes nicht geschehen kann, wie die nachstehende Betrachtung zeigt.

---

* Bekanntlich steht die Ausdehnung, welche eine bestimmte Zugbelastung in einem Materialstück von bestimmter Elasticität hervorbringt, im directen Verhältnisse zur Länge und im umgekehrten Verhältnisse zum Querschnitte des Stückes; es werden demnach behufs Vergleiches der Wirkungen verschiedener Belastungen die auf die Flächeneinheit entfallenden — specifischen — Belastungen in Relation gesetzt und als Mass der Wirkung die Verlängerung der Längeneinheit angenommen, welch letztere, nachdem sie das Verhältniss der totalen Verlängerung des Stückes zur ursprünglichen Länge ausdrückt, als relative Längenänderung bezeichnet wird. Ist Q die Belastung, welche ein Materialstück von der Länge λ und dem Querschnitte F um $\Delta\lambda$ streckt, so bedeutet $q = \frac{Q}{F}$ die specifische Belastung und $\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ die relative Längenänderung. Bei Belastungen innerhalb der Elasticitätsgrenze (insofern anstatt der Elasticitätsgrenze die ermittelte grösste zulässige Belastung gesetzt werden kann, hat man es hier nur mit solchen Belastungen zu thun) nehmen die Längenänderungen eines und desselben Metallstückes in demselben Masse zu, in welchem die Belastungen wachsen; für zwei Belastungen Q und Q', welche die Längenänderungen $\Delta\lambda$ und $\Delta'\lambda$ hervorbringen, gilt daher die Relation $Q : Q' = \Delta\lambda : \Delta'\lambda$, die, wenn links durch F, rechts durch λ dividirt wird, in $\frac{Q}{F} : \frac{Q'}{F} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} : \frac{\Delta'\lambda}{\lambda}$ oder $q : q' = \delta\lambda : \delta'\lambda$ übergeht, woraus $q = q' \frac{\delta\lambda}{\delta'\lambda}$ folgt. Denkt man sich die Proportionalität zwischen den Belastungen und den Längenänderungen unbeschränkt ausgedehnt, so findet man eine specifische Belastung $q' = E$, für welche $\delta'\lambda = 1$ ist, d. h. welche das angegriffene Stück auf die doppelte Länge strecken würde; diese Belastung heisst Elasticitätsmodul und dient als Masstab der specifischen Belastungen: jede specifische Belastung q ist nach $q = E\delta\lambda$ das Product aus der durch dieselbe hervorgebrachten relativen Längenänderung und dem Elasticitätsmodul.

Im Geschützrohre geschieht die Ausdehnung des Materials, welche durch die Zugkraft P bewirkt wird, in der Richtung dieser Kraft, also in jedem Punkte N eines Querschnittes senkrecht zum Radius ON, tangential zum Kreise (zur Ringschichte) $N'N$; bezeichnet man mit x den Radius ON dieser Ringschichte, mit δx die Ausdehnung derselben in tangentialer Richtung und mit q_x die von der Zugkraft P auf diese Schichte entfallende specifische Belastung, so ist nach Obigem $\delta x = \frac{q_x}{E}$, es müsste also, wenn q_x für alle Schichten gleich wäre, δx constant sein.

Es ist ferner zu bemerken, dass die totale tangentiale Ausdehnung der Schichte gleichbedeutend ist mit der Vergrösserung des Umfanges derselben; bezeichnet man diese Vergrösserung des Umfanges $u_x = 2x\pi$ mit Δu_x, so ist $\Delta u_x = 2x\pi \cdot \delta x$, daher $\delta x = \frac{\Delta u_x}{2x\pi}$.

Die tangentiale Ausdehnung, welche eine Vergrösserung des Umfanges der Schichte bedingt, lässt sich ohne Vergrösserung des Radius der Schichte nicht denken. Nachdem der Gasdruck radial wirkt, daher die Molecule des Materials in dieser Richtung zu verschieben trachtet, so ist in der That die Verlängerung der Radien der Schichten das Ursprüngliche, die Vergrösserung der Umfänge und die tangentialen Ausdehnungen aber die nothwendige Folge dieser Verlängerung. Die radiale Verschiebung der Molecule findet einen um so grösseren Widerstand, je weiter sie im Ringe nach aussen fortschreitet, so dass die Verlängerung des Radius von innen gegen aussen zu abnimmt; es muss demnach auch die tangentiale Ausdehnung von A gegen B hin abnehmen. Um das Gesetz, nach welchem diese Abnahme stattfindet, aufzustellen, soll angenommen werden, dass trotz der Verlängerung der Radien eine Aenderung des Flächeninhaltes des Querschnittes nicht stattfindet.* Bezeichnet man die Verlängerung der Radien r und R beziehungsweise mit Δr und ΔR, so führt die obige Annahme auf die Gleichung

$$(R + \Delta R)^2 \pi - (r + \Delta r)^2 \pi = (R^2 - r^2)\pi,$$

woraus $2R\Delta R - 2r\Delta_r + (\Delta R)^2 - (\Delta_r)^2 = 0$ folgt. Nachdem $(\Delta R)^2$ und $(\Delta r)^2$ gegen $2R\Delta R$ und $2r\Delta r$ sehr klein sind, so kann die Differenz $(\Delta R)^2 - (\Delta r)^2$ hinweggelassen werden und es ergibt sich aus

$$2R\Delta R - 2r\Delta r = 0$$

$\frac{\Delta R}{\Delta r} = \frac{r}{R}$, oder allgemein, wenn x an Stelle von R tritt, $\frac{\Delta x}{\Delta r} = \frac{r}{x}$.

Die Vergrösserung des Umfanges ist allgemein

$$\Delta u = 2(x + \Delta x)\pi - 2x\pi = 2\Delta x\pi$$

und die tangentiale relative Ausdehnung $\delta x = \frac{\Delta u}{u} = \frac{2\Delta x\pi}{2x\pi} = \frac{\Delta x}{x}$, daher $\frac{\delta x}{\delta r} = \frac{\Delta x}{x} : \frac{\Delta r}{r} = \frac{r}{x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r} = \frac{r^2}{x^2}$. Nachdem $q_x = E\delta x$ und $q_r = E\delta r$ ist, so folgt die Relation $q_x = q_r \frac{r^2}{x^2}$ als Ausdruck des Gesetzes, nach welchem sich die Belastung P in den Schichten von A gegen B zu vertheilt. Die Belastungen q_x in beliebigen Schichten sind auf q_r als Basis bezogen, weil diese als die grösste den Mass-

* Dies ist die vom Professor Barlow aufgestellte Hypothese, welche wegen ihrer Einfachheit, bei ziemlich guter Uebereinstimmung der nach ihr berechneten Wandstärken mit den aus anderen Principien abgeleiteten, hier als Richtschnur gelten kann.

stab dafür abgibt, ob die zulässige Belastungsgrenze des Materials überschritten wird: findet dieses durch q_r nicht statt, so kann es im isotropen Cylinder auch durch keine andere Belastung geschehen. Der Werth von q_r (und hieraus nach obiger Relation jener eines beliebigen q_x) ergibt sich aus der Gleichung $P = Q$, wobei Q wegen der Variabilität von q_x aus $Q = 2\int_r^R l dx \cdot q_x$ zu berechnen kommt; es ist

$$Q = 2l\int_r^R dx \frac{r^2}{x^2} q_r = 2lr^2 q_r \int_r^R \frac{dx}{x^2} = -\ 2lr^2 q_r \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) =$$

$$= -\ 2lr^2 q_r \frac{r - R}{Rr} = 2\frac{R - r}{R} rl\, q_r, \text{ daher nach } P = Q$$

$$2rlp = 2\frac{R - r}{R} rl\, q_r, \text{ woraus } p = \frac{R - r}{R} q_r \text{ und } q_r = p\frac{R}{R - r} \text{ folgt.}$$

Folgerungen:

1.) Nimmt man die möglich beste Ausnützung der Festigkeit des Materials an, d. h. setzt man $q_r = e$, wo e die grösste zulässige Belastung des Materials bedeutet, und führt man die Wandstärke $S = R - r$ ein, so ist $p = \frac{R - r}{R} q_r =$ $= \frac{S}{S + r} e$, hieraus $S = \frac{p}{e - p} r$ und $\frac{S}{2r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{e - p}$, das erstere gibt die Wandstärke im Längenmass, das letztere in Kalibern des Rohres.

Beispiel. Für ein Rohr vom Radius $r = 10$ %m, welches einer Maximalgasspannung von 1000 Atm. ausgesetzt werden soll, ist die Wandstärke in demjenigen Rohrtheile, in welchem diese Spannung eintritt, zu bestimmen. Man kann

für Gusstahl	$e = 2700$ kg	auf 1 □%m.	
» Schmiedeisen	$e = 2000$ »	» 1 »	
» gewöhnliches Gusseisen*	$e = 1100$ »	» 1 »	
» ordinäre Bronce	$e = 800$ »	» 1 »	

setzen; nachdem $p = 1000$ Atm. $= 1030$ kg auf 1 □%m ist, so findet man

für Gusstahl	$S = 6 \cdot 17$ %m	$= 0 \cdot 358$	Kaliber.
» Schmiedeisen	$S = 10 \cdot 62$ »	$= 0 \cdot 531$	»
» Gusseisen	$S = 147 \cdot 1$ »	$= 7 \cdot 35$	»
» Bronce	$S = -\ 45$ %m.		

Die letztere Zahl zeigt, dass die ordinäre Bronce nicht widerstandsfähig genug ist, um eine Gasspannung von 1000 Atm. auszuhalten, ohne dass die Beanspruchung der innersten Rohrschichte die grösste zulässige Belastung des Materials übersteigt.

2.) Aus $p = \frac{S}{S + r} e$ folgt der grösste Gasdruck, welchem ein Rohr von gegebener Wandstärke ausgesetzt werden darf.

---

* Das beste Gusseisen vom zweiten Guss.

Man findet für

$S =$	$\frac{1}{2}$,	1,	$1^1/_2$,	2,	3,	4,	5,	10,	20,	∞ Kaliber
$\frac{p}{e} =$	$\frac{1}{2}$,	$\frac{2}{3}$,	$\frac{3}{4}$,	$\frac{4}{5}$,	$\frac{6}{7}$,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{10}{11}$,	$\frac{20}{21}$,	$\frac{40}{41}$,	1.

Beispiel. Die Wandstärke eines Rohres sei 1 Kaliber, welcher Gasspannung kann dasselbe ausgesetzt werden, damit in keiner Schichte die grösste zulässige Belastung überschritten werde? Nachdem $p = \frac{2}{3}e$, so ergibt sich die grösste zulässige Gasspannung für ein

Rohr aus	Gusstahl	$p = 1800$ $^k/_g$	auf	1 $\square^c/_m$	$= 1748$	Atm.
» »	Schmiedeisen	$p = 1333$ „	»	1 »	$= 1294$	»
» »	Gusseisen	$p = 733$ »	»	1 »	$= 712$	»
» »	ord. Bronce	$p = 533$ »	»	1 »	$= 518$	»

3.) Die Gleichung $p = \frac{R-r}{R}e = e - \frac{r}{R}e$ zeigt, dass $p < e$ sein muss, d. h. dass das Rohr keiner Gasspannung ausgesetzt werden darf, welche grösser ist, als die zulässige Belastung des Materials; die Grenze der in einem Rohre überhaupt zulässigen Gasspannungen ist demnach diejenige, welche der grössten zulässigen Belastung des Materials gleichkommt. Bei dieser Spannung müsste aber, wie aus Gleichung $S = \frac{p}{e-p}r$ für $e = p$ folgt, die Wandstärke $S = \infty$ sein.

4.) Aus $q_r = \frac{R}{R-r}p = \frac{S+r}{S}p$ folgt die Beanspruchung der innersten Schichte eines Rohres von der Wandstärke S, wenn die in demselben herrschende Gasspannung p ist; diese Beanspruchung ist um so kleiner, je grösser die Wandstärke ist, wie natürlich, nachdem sich die Wirkung des Gasdruckes auf eine grössere Fläche vertheilt. Es ergibt sich

für $S =$	$\frac{1}{2}$,	1,	$1^1/_2$,	2,	3,	4,	5,	10,	20,	∞ Kaliber
$\frac{q_r}{p} =$	2,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{7}{6}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{11}{10}$,	$\frac{21}{20}$,	$\frac{41}{40}$,	1.

5.) Aus der Gleichung $q_x = \frac{r^2}{x^2}q_r$ findet man die Beanspruchung in den verschiedenen Schichten, d. h. den Antheil der Schichte am ganzen Widerstande des Rohres:

für $\frac{x}{r} =$	1,	1·1,	1·2,	1·5,	2,	2·5,	3,	4,	5,	6,	10
$\frac{q_x}{q_r} =$	1,	0·826,	0·673,	0·444,	0·25,	0·16,	0·11,	0·063,	0·04,	0·028,	0·01.

6.) Der Gesammtwiderstand, welchen ein isotropes Rohr dem Gasdrucke entgegenstellen könnte, wenn alle Schichten gleichmässig (nämlich so wie die innerste) in Anspruch genommen würden, wäre $W = 2(R-r)lq_r$; nachdem sich aber die Schichten in um so geringerem Grade am Widerstande betheiligen, je weiter sie von der Bohrungsschichte abliegen, so wird nur ein Theil dieses Gesammtwiderstandes wirklich ausgenützt. Das Ausnützungsverhältniss $\frac{Q}{W} = 2\frac{R-r}{R}rlq_r : 2(R-r)lq_r = \frac{r}{R} = \frac{r}{S+r}$ ist um so kleiner, je grösser die Wandstärke des Rohres ist, u. zw. für die Wandstärke von:

$\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1. $1^1/_2$. 2. 3. 4. 5, 10 Kalibern

$\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{11}$, $\frac{1}{21}$.

Es würde also bei einer Wandstärke von 1 Kaliber nur mehr $\frac{1}{3}$ des Widerstandes des Rohres ausgenützt und $\frac{2}{3}$ derselben blieben vollkommen unbenützt.

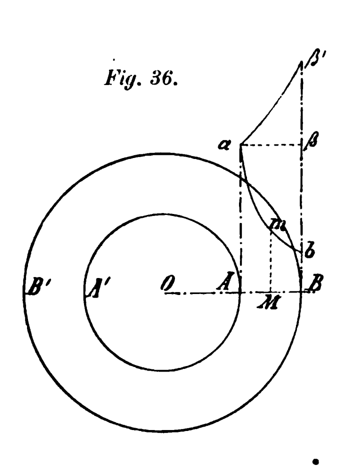


Fig. 36.

Nachdem die Beanspruchung q_x in verschiedenen Schichten des Querschnittes eine verschiedene ist, so würde die rationelle, vollständige Ausnützung der Festigkeit des Materials erfordern, dass auch diese letztere, d. h. die grösste zulässige Belastung e_x, je nach den Schichten verschieden, nämlich dass eben so wie $e_r = q_r$ sein muss, auch allgemein $e_x = q_x$ sei. Trägt man auf den Endpunkten der Radien der Schichten $OM = x$ *(Fig. 36)* die entsprechenden Beanspruchungen q_x als Ordinaten auf, so ergibt sich durch Verbindung der Endpunkte derselben *amb* als *Curve der Beanspruchungen;** wenn man mit den Festigkeiten (den grössten zulässigen Belastungen e_x) auf dieselbe Art verfährt, so erhält man *die Curve der Festigkeiten.* Diese beiden Curven müssten identisch sein, damit kein Theil der Festigkeit des Materials unbenützt bleibe.

Durch die gewöhnliche Bearbeitung des Materials: Schmieden oder Giessen eines massiven Blockes und nachheriges Ausdrehen der Bohrung, — kann diesem Principe nicht genügt werden. Das Schmieden (Schmiedeisen und überschmiedeter Stahl) gibt im besten Falle eine in allen Schichten gleiche Festigkeit (ein isotropes Rohr), wo also $e_x = e$ eine constante Grösse ist und die Curve der Festigkeiten durch die zu AB parallele Gerade $\alpha\beta$ dargestellt ist. Man kann sich die gesammte Widerstandsfähigkeit, welche das Material leisten könnte, unter dem Bilde der Rechteckfläche $AB\alpha\beta = e(R - r)$ und den wirklich in Anspruch genommenen Theil derselben unter dem Bilde der Fläche $ABamb = \int_r^R q_x dx$ vorstellen, so dass die Fläche

* Diese Curve kehrt ihre convexe Seite der Abscissenaxe zu, wie der zweite Differentialquotient der Gleichung derselben $q_x = \frac{r^2}{x^2} q_r$, $\frac{d^2 q_x}{dx^2} = 2r^2 q_r$ durch sein positives Vorzeichen beweist.

ambβ den unbenützt bleibenden Theil des Widerstandes darstellt.* — Beim Massivguss (ordinäre Bronce, gewöhnliches Gusseisen) schreitet die Abkühlung und Erstarrung der Schichten von aussen gegen innen fort; durch die Erstarrung der äusseren Schichten erhält der Block ein nicht mehr veränderliches Volumen, so dass sich die inneren Schichten bei ihrer Erkaltung nicht mehr im gehörigen Masse zusammenziehen können, daher zwischen den Moleculen derselben eine gewisse Ausdehnung (Spannung) zurückbleibt, welche eine verminderte Festigkeit bedingt. Da dies in umso grösserem Grade der Fall ist, je weiter die Schichte nach innen liegt, so nimmt die Festigkeit von aussen gegen innen ab: die Festigkeitscurve *aβ'* hat den umgekehrten Verlauf, wie die Curve der Beanspruchungen, das Ausnützungsverhältniss ist noch ungünstiger, als beim geschmiedeten Material.

Nachdem beim gegossenen Rohre die Festigkeit von innen gegen aussen hin zunimmt, so ist die grösste zulässige Belastung je nach der Schichte verschieden, daher $e_x = f(x)$ zu setzen; die totale Widerstandsfähigkeit des Rohres bestimmt sich demnach aus $W = \int_r^R e_x dx$ (wenn $2l$ hinweggelassen wird). Sei $e_x = a + b\frac{x}{r}$, wo a und b constante, von x unabhängige Grössen bedeuten, so ist $W = a(R - r) + \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{r}(R^2 - r^2)$; der ausgenützte Theil der Festigkeit ist, da $q_r = e_r = a + b$ sein muss,

$$Q = \int_r^R q_x dx = q_r \int_r^R \frac{r^2}{x^2} dx = q_r \frac{r}{R}(R - r) = (a + b)\frac{r}{R}(R - r).$$

Beispiel: In einem massiv gegossenen Rohre, dessen Wandstärke 1 Kaliber beträgt ($R - r = 2r$, daher $R = 3r$), verlaufe die Curve der Festigkeiten nach der Gleichung $e_x = 750 + 150\frac{x}{r}$, so dass sich für die Festigkeiten folgende Reihe ergibt:

$$\text{für } \frac{x}{r} = 1,\ 1{\cdot}5,\ 2,\ 2{\cdot}5,\ 3\ \left(\frac{R}{r}\right)$$

$$e_x = 900,\ 975,\ 1050,\ 1125,\ 1200\ ^{k}/_{g} \text{ auf } 1\ \square^{c}/_{m};$$

hiefür ist $W = 2 \cdot 750r + \frac{1}{2}150 \cdot 8r = 2100r$, und da $q_r = e_r = 900$. $Q = \frac{2}{3}(750 + 150)\,r = 600r$, daher das Ausnützungsverhältniss

---

* Die Ausdrücke $e(R - r)$ und $\int_r^R q_x dx$ bedeuten W und Q, wenn die hier gleichgiltige Länge l und der Widerstand der anderen Seite $A'B'$ des Querschnittes hinweggelassen wird; das Ausnützungsverhältniss, d. h. das Verhältniss dieser beiden Flächen, ist unter Punkt 6.) der Folgerungen für verschiedene Wandstärken angeführt.

$\frac{G}{W} = \frac{600r}{2100r} = \frac{6}{21}$. Nach der Formel $p = \frac{R-r}{R} q_r$ könnte das Rohr einem Gasdrucke von $p = \frac{2}{3} q_r = 600$ $^k/_g$ auf 1 □$^c/_m$ = 582 Atm. ausgesetzt werden. — Wäre das Rohr isotrop und von derselben totalen Widerstandsfähigkeit $W = 2100r$, so wäre $e = 1050$ und für $q_r = e$, $Q = \frac{2}{3} 1050r = 700r$, demnach das Ausnützungsverhältniss $\frac{Q}{W} = \frac{700r}{2100r} = \frac{7}{21}$; das Rohr könnte einem Gasdrucke von $p = \frac{2}{3} \cdot 1050 = 700$ $^k/_g$ auf 1 □$^c/_m$ = 680 Atm. ausgesetzt werden.

Um die Festigkeit des Materials besser auszunützen, als dies bei den durch Massivguss oder durch Schmieden hergestellten einfachen Rohren der Fall ist, werden folgende Fabricationsmethoden angewendet, welche man unter dem Namen **künstliche Metall-Constructionen** begreift.

a) Der *Hohlguss mit Abkühlung des Rohres von innen;* es wird nämlich die Bohrung schon im Gusse hergestellt, und damit sich die inneren Schichten möglichst rasch abkühlen und vollständig zusammenziehen, bevor die äusseren erstarren, der innere, der Bohrung entsprechende Theil der Gussform aus Metall hergestellt und häufig durch denselben noch ein continuirlicher Strom von Wasser oder kalter Luft durchgetrieben, während der äussere Theil der Form möglichst lange warm erhalten wird. Das Princip dieses Verfahrens ist demnach, die Festigkeit der innersten Schichten auf Kosten jener der äusseren zu erhöhen, also die Festigkeitscurve, wenigstens der Tendenz ihres Verlaufes nach, der Curve der Beanspruchungen nahe zu bringen. In der Regel gelingt dies nicht vollständig, da die Abkühlung der äusseren Schichten nicht lange genug verzögert werden kann, und es ergibt sich gewöhnlich der in *Fig. 37* dargestellte Verlauf der Festigkeitscurve *acb*: in der Schichte *C* die kleinste Festigkeit.

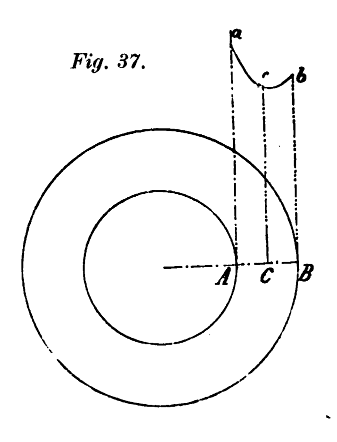


Fig. 37.

Beispiel. Aus demselben Material, welches im obigen Beispiel für den Massivguss vorausgesetzt wurde, wird ein Rohr in denselben Dimensionen, aber durch Hohlguss und innere Abkühlung erzeugt, so dass die grösste Festigkeit ($e = 1200$ $^k/_g$ auf 1 □$^c/_m$) nun an die innerste Schichte gelangt; die Curve der Festigkeiten verläuft nach der Gleichung $e_x = 1525 - 400 \frac{x}{r} + 75 \frac{x^2}{r^2}$, woraus sich die Reihe:

für $\frac{x}{r} =$ 1, 1·5, 2, 2·5, 3

$e_x =$ 1200, 1094, 1025, 993, 1000 ergibt.

Die totale Widerstandsfähigkeit

$$W = \int_r^R e_x\, dx = 1525(R - r) - \frac{200}{r}(R^2 - r^2) + \frac{25}{r^2}(R^3 - r^3) =$$
$$= 3050r - 1600r + 650r = 2100r$$

ist genau dieselbe wie früher, aber die innerste Schichte dieses Rohres darf bis $q_r = e_r = 1200$ k/g auf 1 □c/m in Anspruch genommen und das Rohr einem Gasdrucke von $p = q_r \frac{R-r}{R} = \frac{2}{3} q_r = 800$ k/g auf 1 □c/m = 777 Atm. ausgesetzt werden; das Ausnützungsverhältniss ist, da $Q = \frac{2}{3} q_r r = 800r$, $\frac{Q}{W} = \frac{8}{21}$*

Resumirt man die Resultate, welche für die drei als Massivguss, isotroper Cylinder und Hohlguss erzeugten Rohre von derselben totalen Widerstandsfähigkeit $W = 2100r$ erhalten wurden, so hat man:

Massivguss:	Ausnützungsverhältniss	$\frac{6}{21}$,	zulässige	Gasspannung	582 Atm.
isotropes Rohr:	»	$\frac{7}{21}$	»	»	680 »
Hohlguss:	»	$\frac{8}{21}$	»	»	777 »

In diesen Zahlen ist der Vortheil dieser Erzeugungsweise ausgedrückt.

β) Die Zusammensetzung (Schichtung) des Geschützrohres aus mehreren über einander gezogenen Röhren aus verschieden festen Materien, u. zw. derart, dass das Material der innersten Röhre die grösste Festigkeit besitzt und jene der äusseren successive abnimmt: solche Rohre werden *geschichtete* oder *Mantelrohre* genannt. Bezeichnet man mit r, R die Radien des innersten oder Kernrohres, mit E den Elasticitätsmodul, mit e** die grösste zulässige Belastung des Materials des Kernrohres, mit $r_1 R_1 E_1 e_1$ die analogen Elemente des ersten Mantelrohres, mit $r_2 R_2 E_2 e_2$ jene des zweiten Mantelrohres u. s. f., so ist unter der Voraussetzung, dass die Röhren zwar ohne Pressung, aber vollkommen dicht aneinander anschliessen, $r_1 = R_1$, $r_2 = R_1 \ldots$.

Nimmt man das oben angeführte Gesetz $\delta x = \frac{r^2}{x^2} \delta r$ für das Verhältniss der relativen Ausdehnungen als in jeder Röhre, daher

---

* Um sich zu überzeugen, dass trotz der anfänglichen Abnahme der Festigkeit von innen nach aussen die Inanspruchnahme in keiner Schichte die Elasticitätsgrenze überschreitet, braucht man nur die Reihe der $q_x = \frac{r^2}{x^2} q_r$ mit jener der e_x zu vergleichen; es ist für:

$\frac{x}{r} =$	1	1·5	2	2·5	3	
$q_x =$	1200	533	300	192	133	Atm.
$e_x =$	1200	1094	1025	993	1000	»

** Die Röhren sollen der Einfachheit wegen als isotrop betrachtet werden.

auch in dem ganzen geschichteten Cylinder, giltig an, so ist

$$\delta r_1 = \delta R = \frac{r^2}{r_1^2}\delta r,\ \delta r_2 = \delta R_1 = \frac{r^2}{r_2^2}\delta r \ldots$$

Die Beanspruchung der innersten Schichte ist demnach:

für das Kernrohr $q_r = E\delta r$,

» » erste Mantelrohr $q_{r_1} = E_1\delta_{r_1} = E_1 \frac{r^2}{r_1^2}\delta_r = \frac{E_1}{E}\frac{r^2}{r_1^2}qr$,

» » zweite » $q_{r_2} = E_2\delta_{r_2} = E_2 \frac{r^2}{r_2^2}\delta_r = \frac{E^2}{E}\frac{r^2}{r_2^2}qr \ldots$

$q_r q_{r_1} q_{r_2} \ldots$ sind an die Bedingung gebunden, dass $q_r < e, q_{r_1} < e_1, q_{r_2} < e_2 \ldots$ sein muss. Die günstigste Ausnützung der Festigkeit erfordert $q_r = e,\ q_{r_1} = e_1,\ q_{r_2} = e_2 \ldots$, woraus sich das Verhältniss der Wandstärken der einzelnen Röhren, d. h. die Auftheilung der ganzen Rohrstärke $(R_n - r)$ an die verschiedenen, zur Verfügung stehenden Materialien bestimmt. Aus $e_1 = \frac{E_1}{E}\frac{r^2}{r_1^2}e,\ e_2 = \frac{E_2}{E}\frac{r^2}{r_2^2}e \ldots$ ist

$$r_1 = r\sqrt{\frac{E_1}{E}\cdot\frac{e}{e_1}},\ r_2 = r\sqrt{\frac{E_2}{E}\cdot\frac{e}{e_2}} \ldots$$

Die totale Beanspruchung des Kernrohres ist:

$$Q^* = q_r r\frac{R-r}{R} = q_r r\left(1-\frac{r}{R}\right)$$

des ersten Mantelrohres: $Q_1^* = q_{r_1} r_1 \frac{R_1 - r_1}{R_1} = q_{r_1} r_1\left(1 - \frac{r_1}{R_1}\right)$

» zweiten » $Q_2^* = q_{r_2} r_2 \frac{R_2 - r_2}{R_2} = q_{r_2} r_2\left(1 - \frac{r_2}{R_2}\right) \ldots$

daher die gesammte Beanspruchung des ganzen geschichteten Cylinders:

$$Q_s^* = Q + Q_1 + Q_2 + \ldots = q_r r\left(1-\frac{r}{R}\right) + q_{r_1} r_1\left(1-\frac{r_1}{R_1}\right) + q_{r_2} r_2\left(1-\frac{r_2}{R_2}\right) + \ldots$$

Nach der Gleichung $P = Q_s$, wo $P = pr$*, ist

$$pr = q_r r\left(1-\frac{r}{R}\right) + q_{r_1} r_1\left(1-\frac{r_1}{R_1}\right) + q_{r_2} r_2\left(1-\frac{r_2}{R_2}\right) + \ldots$$

oder wenn $q_{r_1} q_{r_2} \ldots$ durch q_r ausgedrückt werden:

$$pr = q_r r\left(1-\frac{r}{R}\right) + q_r r\frac{E_1}{E}\frac{r}{r_1}\left[1-\frac{r_1}{R_1}\right] + q_r r\frac{E_2}{E}\frac{r}{r_2}\left[1-\frac{r_2}{R_2}\right] + \ldots$$

und $p = q_r\left[1 - \frac{r}{R} + \frac{E_1}{E}\cdot\frac{r}{r_1}\left(1-\frac{r_1}{R_1}\right) + \frac{E_2}{E}\cdot\frac{r}{r_2}\left(1-\frac{r_2}{R_2}\right) + \ldots\right]$

---

* Mit Hinweglassung des constanten Factors $2l$.

Setzt man zur Abkürzung $\frac{r}{R} = \frac{r}{r_1} = \varrho$, $\frac{r_1}{R_1} = \frac{r_1}{r_2} = \varrho_1$, $\frac{r_2}{R_2} =$ $= \frac{r_2}{r_3} = \varrho_2 \ldots$, wobei $\frac{r}{r_2} = \frac{r}{R_1} = \frac{r}{r_1} \cdot \frac{r_1}{R_1} = \varrho\varrho_1$, $\frac{r}{r_3} = \frac{r}{R_2} =$ $= \frac{r}{r_1} \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r_2}{R_2} = \varrho\varrho_1\varrho_2 \ldots$ ist, so hat man für $q_r = e$

$$p = \frac{e}{E}\left[E + \varrho E_1 + \varrho\varrho_1 E_2 + \ldots - \varrho E - \varrho\varrho_1 E_1 - \varrho\varrho_1\varrho_2 E_2 - \ldots\right]$$

Diese Gleichung gibt die Gasspannung, welcher ein Rohr von bestimmten Dimensionen ausgesetzt werden kann, wenn die günstigste Ausnützung der Festigkeit in allen Röhren vorausgesetzt wird, d. h. wenn die Auftheilung der ganzen Wandstärke $R_n - r$ nach den Gleichungen für $r_1 r_2 \ldots.$ stattgefunden.

Soll umgekehrt für eine bestimmte Gasspannung p die Wandstärke ermittelt werden, so hat man für einen aus dem Kern- und einem Mantelrohre bestehenden Cylinder aus:

$$p = \frac{e}{E}\left(E + \varrho E_1 - \varrho E\right) - e\frac{E_1}{E} \cdot \varrho\varrho_1, \text{ da } \varrho\varrho_1 = \frac{r}{R_1} \text{ ist,}$$

$$\frac{r}{R_1} = \frac{e(E + \varrho E_1 - \varrho E) - pE}{eE_1} \text{ und } R_1 = r\,\frac{eE_1}{e(E + \varrho E_1 - \varrho E) - pE};$$

auf ähnliche Art findet man für einen aus dem Kern- und zwei Mantelrohren bestehenden Cylinder:

$$R_2 = r\,\frac{eE_2}{e(E + \varrho E_1 + \varrho\varrho_1 E_2 - \varrho E - \varrho\varrho_1 E_1) - pE} \text{ u. s. f.}$$

Beispiel. Aus Gusstahl ($E = 2000000$, $e = 2700$ kg auf 1 □cm) und Gusseisen ($E_1 = 1700000$, $e_1 = 1000$ kg auf 1 □cm) soll ein geschichtetes Rohr hergestellt werden, welches einer Gasspannung von 1800 kg auf 1 □cm (1750 Atm.) widerstehen soll. Welche Wandstärke muss jede der beiden Röhren erhalten, damit die günstigste Ausnützung der Festigkeit der beiden Materialien stattfindet? Man findet zuerst aus der Gleichung $r_1 = r\sqrt{\frac{E_1}{E} \cdot \frac{e}{e_1}}$, $R = r_1 = r\sqrt{2 \cdot 295} = 1 \cdot 515r$, daher $\varrho = \frac{r}{r_1} = 0 \cdot 66$, und mit diesem Werth aus der Gleichung für $R_1 : R_1 = 3 \cdot 63r$. Somit muss die Wandstärke des gusstählernen Kernrohres $R - r = 0 \cdot 515r$ (ungefähr $^1/_4$ Kaliber), jene des gusseisernen Mantelrohres $R_1 - r_1 = 2 \cdot 115r$ (etwas über ein Kaliber) und die gesammte Wandstärke $R_2 - r = 2 \cdot 63r$ (etwas über $1^1/_4$ Kaliber) betragen. Die totale Widerstandsfähigkeit des Kernrohres ist $W = (R - r)e = 1390 \cdot 5r$, jene des Mantelrohres, wenn es als isotrop betrachtet wird, $W_1 = (R_1 - r_1)e_1 = 2115r$, daher die des ganzen Cylinders $W_s = W + W_1 =$ $= 3505 \cdot 5r$, — die Beanspruchung des Kernrohres $Q = er\frac{R - r}{R} = 918r$, des

Mantelrohres $Q_1 = e_1 r_1 \frac{R_1 - r_1}{R_1} = e_1 \frac{r}{\varrho} \frac{R_1 - r_1}{R_1} = 882r$, daher des ganzen Rohres $Q_s = pr = 1800r$; somit ist das Ausnützungsverhältniss $\frac{Q_s}{W_s} = \frac{1800}{3505 \cdot 5}$ oder ungefähr $\frac{1}{2}$. Wäre das Rohr ganz aus Gusstahl erzeugt, so wäre die Wandstärke $S = \frac{p}{e-p} r = \frac{1800}{2700 - 1800} r = 2r$, 1 Kaliber, also um ungefähr $^1/_4$ Kaliber kleiner, als beim geschichteten Rohre; dagegen wäre die totale Widerstandsfähigkeit dieses Rohres $W = Se = 2er = 5400$ und das Ausnützungsverhältniss $\frac{1800}{5400}$ nur $\frac{1}{3}$. Aus Gusseisen allein könnte ein diesen Bedingungen entsprechendes Rohr gar nicht hergestellt werden, da $p > e_1$ ist.

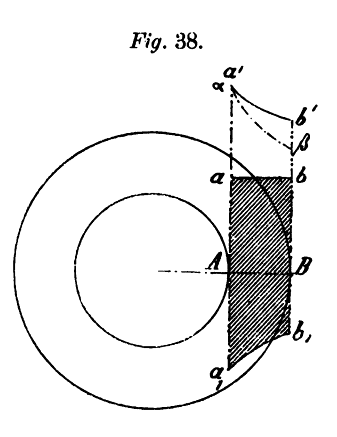
Diese Fabricationsmethode wird hauptsächlich angewendet, um ein aus einem Material von geringerer Widerstandsfähigkeit (hier Gusseisen) erzeugtes Rohr durch Einziehen einer Röhre aus einem widerstandsfähigeren Material zu verstärken, damit es einer grösseren Gasspannung ausgesetzt werden könne. Ein gusseisernes Rohr von der Wandstärke $S = 2 \cdot 63r$ könnte nur einen Gasdruck von $p = \frac{S}{S+r} e = 725$ k/g auf 1 □%m $= 700$ Atm. aushalten; wird aber dieses Rohr durch Ausbohren auf ungefähr $1^1/_2$ Kaliber erweitert und in dasselbe eine Stahlröhre von $^1/_4$ Kaliber Wandstärke eingezogen, so könnte es nach obigem Beispiel einem Gasdrucke von 1750 Atm. ausgesetzt werden.*

Durch die beiden soeben besprochenen künstlichen Metallconstructionen wird der Grundsatz, dass die im Rohre auftretende Gasspannung nicht grösser sein darf, als die Festigkeit (grösste zulässige Belastung) des Materials an der innersten Schichte beträgt, nicht alterirt. Damit die Gasspannung über diese Grenze hinaus gesteigert werden könne, müssen die Rohrschichten künstlich verdichtet, nämlich in einen Zustand der Pression versetzt werden, so dass die auf jede Schichte entfallende Beanspruchung erst diese Pression aufheben, d. h. die Schichte in ihren natürlichen Zustand überführen muss, bevor die Ausdehnung derselben beginnen kann. Nachdem das Aufheben der Pression einen Theil der Beanspruchung absorbirt und nur der Rest der letzteren die wirkliche Ausdehnung bewirkt, so wird die zulässige Beanspruchung der Schichte grösser sein, daher die Gasspannung ohne Gefahr für das Rohr gesteigert werden können. Bezeichnet man die Belastung, welche in irgend einer Schichte zum Aufheben der Pression nothwendig ist, mit η_x, die Belastung, welche diese Schichte (von ihrem natürlichen Zustande an) bis zur zulässigen Grenze auszudehnen geeignet ist, wie früher mit e_x, so ist die zulässige Beanspruchung dieser Schichte $\eta_x + e_x$.

* Nach diesem Princip wurden in England über Vorschlag des Capitäns Palliser gusseiserne glatte Geschützrohre durch Einziehen einer schmiedeisernen Röhre verstärkt und mit Zügen versehen.

Ist in *Fig. 38* ab die Curve der e_x (isotropes Rohr), a_1b_1 die Curve der Pressionen, so ergibt sich die Curve $a'b'$ der zulässigen Beanspruchungen (der Festigkeiten), wenn man jede der nach aufwärts aufgetragenen Ordinaten e_x um die nach abwärts aufgetragene Ordinate der Pressionen verlängert. Die totale Widerstandsfähigkeit des Rohres ist durch die Fläche $aba_1b_1 = ABa'b'$ dargestellt. Nachdem die wirklich stattfindende Beanspruchung in keiner Schichte die zulässige überschreiten darf, so muss die Curve $\alpha\beta$ der wirklichen Beanspruchungen unter jene $a'b'$ fallen.

Fig. 38.

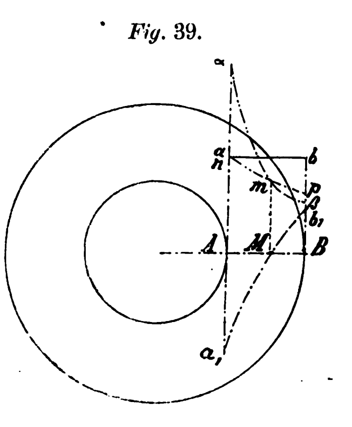


Die vollständige Ausnützung der Widerstandsfähigkeit des Rohres würde bedingen, dass $\alpha\beta$ mit $a'b'$ zusammenfalle: dies wird jedoch in der Regel nicht erreicht, sondern man muss sich mit einer möglichst günstigen Ausnützung begnügen, d. h. die wirkliche Belastung wenigstens in einer Schichte bis zur zulässigen zu bringen. Geschieht dies beispielsweise in der innersten Schichte, so ist $AB\alpha\beta$ der ausgenützte, $\alpha\beta b'$ aber der unbenützte Theil der Widerstandsfähigkeit.

Zur Verdichtung des Materials werden folgende Mittel angewendet:

γ) *Innerer Druck:* Durchtreiben von mehreren successive stärkeren Conusen durch die Bohrung. Dieses Verfahren ist einem einseitigen Walzen zu vergleichen, bei welchem die Molecule theilweise, nach aussen hin, dem Drucke ausweichen können; es werden demnach in der Regel nur die inneren Schichten wirklich verdichtet, die äusseren aber ausgedehnt, so dass sich der Zustand des Materials in den verschiedenen Schichten durch die Curve a_1b_1 *(Fig. 39)* versinnlichen lässt, wo die nach abwärts aufgetragenen Ordinaten der Schichten von A bis M Verdichtungen (Pressionen), die nach aufwärts aufgetragenen der Schichten von M bis B

Fig. 39.



aber Ausdehnungen (Spannungen) bezeichnen; die Schichte M, welche weder verdichtet noch ausgedehnt ist, heisst neutrale Schichte.

Bezeichnet man mit η_x die Spannung, in welche die Schichte vom Radius x durch die Bearbeitung versetzt wurde (wobei die Pressionen als negative Spannungen zu betrachten sind), und mit μ_x die Spannung, in welche die Schichte beim Auftreten des Gasdruckes überführt wird, so ist $\mu_x = \eta_x + q_x$; ist $\eta_x = \eta_r \varphi(x)$ die Gleichung der Curve $a_1 M b_1$ der ursprünglichen (vor dem Schusse stattfindenden) Spannungen, so ist $\mu_x = \eta_r \varphi(x) + q_r \frac{r^2}{x^2}$ die Gleichung der Curve nmp der schliesslichen (durch den Schuss herbeigeführten) Spannungen.

Aus der allgemeinen Bedingung: $\mu_x < e$ und $- \eta_x < \varepsilon$, worin e die zulässige grösste Zug- und ε die zulässige grösste Druckbelastung des Materials bedeutet, folgt, wenn μ_r und $- \eta_r$ die grössten bezüglichen Werthe sind, für die günstigste Ausnützung der Festigkeit $\mu_r = e$ und $\eta_r = \varepsilon$; demnach ist $q_r = e + \varepsilon$ und der Gasdruck, welchem das Rohr unterworfen werden darf, $p = q_r\left(1 - \frac{r}{R}\right) = (e + \varepsilon)(1 - \varrho)$.

Als Richtschnur für die Bearbeitung, d. h. für die Spannung, welche jede Schichte durch diese erhalten darf, dient $\eta_x = \mu_x - q_x$: da als grösster zulässiger Werth $\mu_x = e$ gilt, so darf η_x nicht grösser sein als $\eta_x = e - q_r \frac{r^2}{x^2} = e - (e + \varepsilon)\frac{r^2}{x^2}$; würde bei der Bearbeitung die ursprüngliche Spannung der Schichten derart geregelt, dass dieser Gleichung genügt wird, so würde sich die vollständige Ausnützung der Zugfestigkeit ergeben, da alsdann $\mu_x = e$ wäre, d. h. die Curve nmp der schliesslichen Spannungen mit der Curve ab der Festigkeiten zusammenfallen würde, also alle Schichten gleichmässig bis zur Elasticitätsgrenze gespannt würden.

Beispiel. Gegeben: $e = 2000$, $\varepsilon = 1600$, $p = 2400$ kg auf 1 □cm; welche Wandstärke muss das Rohr erhalten und in welche Spannung darf jede Schichte bei der Bearbeitung gebracht werden, damit durch den Gasdruck alle Schichten gleichmässig (bis e) gespannt werden? Aus $p = (e + \varepsilon)(1 - \varrho)$ folgt $\varrho = 1 - \frac{p}{e + \varepsilon} = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$, daher $R = 3r$ und die Wandstärke $R - r = 2r = 1$ Kaliber. Die Gleichung der Curve der ursprünglichen Spannungen ist $\eta_x = e - (e + \varepsilon)\frac{r^2}{x^2}$; daraus folgt für den Radius der neutralen Schichte ($\eta_x = o$) $x = r\sqrt{\frac{e + \varepsilon}{e}} = 1{\cdot}3416 r$ und für die ursprüngliche Spannung der Schichte vom Radius:

$\frac{x}{r} =$	1,	1·2,	1·4,	1·6,	1·8,	2,	2·2,	2·4,	2·6,	2·8,	3, $\left(\frac{R}{r}\right)$
$\eta_x =$	− 1600,	−500,	+163,	594,	889,	1100,	1256,	1375,	1467,	1540,	1600.

Wie man sieht, fällt hier die neutrale Schichte sehr nahe an die Bohrung, was bei der praktischen Bearbeitung kaum der Fall sein wird; dies schadet übrigens nichts, ja ist im Gegentheil noch günstiger, wie die nachstehende Betrachtung zeigt. Hätte sich durch die Bearbeitung als Gleichung der ursprünglichen Spannungen $\eta_x = e - (e + \varepsilon)\frac{r}{x}$ ergeben, so wäre der Radius der neutralen Schichte $x = r\frac{e + \varepsilon}{e} = 1 \cdot 8r$, und es wären diese Spannungen:

für $\frac{x}{r} =$ 1, 1·2, 1·4, 1·6, 1·8, 2, 2·2, 2·4, 2·6, 2·8, 3

$\eta_x =$ −1600, −1000, −571, −250, 0, +200, 364, 500, 615, 715, 800.

Nachdem hier die ursprünglichen Spannungen kleiner sind als früher, so werden die Schichten (mit Ausnahme der innersten) durch den Gasdruck nicht bis e gespannt. Der Unterschied zwischen den beiden Fällen der Bearbeitung ist, dass im ersteren mehr die Zug-, im zweiten mehr die Druckfestigkeit des Materials ausgenützt wird. Es kann demnach jedenfalls die Beanspruchung der innersten Schichte $q_r = e + \varepsilon$ angenommen werden, ohne befürchten zu müssen, dass die Beanspruchung in irgend einer Schichte die Elasticitätsgrenze überschreiten werde.

Wäre das Rohr nicht auf vorbeschriebene Art bearbeitet worden, so könnte es bei der Wandstärke von 1 Kaliber nur einen Gasdruck von $p = e(1 - \varrho) = 1333$ kg auf 1 □cm aushalten; in der Differenz von 2400 gegen 1333 (ungefähr 1000 Atm.) ist in dem angenommenen Falle der Vortheil dieser Bearbeitungsweise des Materials ausgedrückt.

δ) *Aeusserer Druck,* erzeugt durch Aufziehen von Ringen, deren innerer Durchmesser kleiner ist, als der äussere Durchmesser des Kernrohres. Die Ringe werden vor dem Aufziehen erhitzt, damit sie sich entsprechend erweitern; beim Erkalten nach dem Aufziehen trachten sie in ihre ursprünglichen Dimensionen zurückzukehren, pressen demnach das Kernrohr zusammen, werden aber selbst infolge des Widerstandes des Kernrohres gegen das Zusammenpressen ausgedehnt. Es wird demnach durch diese Fabricationsmethode das Material des Kernrohres in einen Zustand der Pression, das Material der Ringlage in einen Zustand der Spannung versetzt. Die auf diese Art hergestellten Geschützrohre werden *Ringrohre* oder *bereifte Rohre* genannt. Die Veränderungen, welche einerseits das Kernrohr, anderseits die Ringlage zuerst beim Aufziehen der Ringe, dann beim Schusse erleiden, ergeben sich folgendermassen:

1.) Beim Aufziehen der Ringe. Für das Kernrohr sollen die früheren Bezeichnungen $rR\varrho Ee\varepsilon$ beibehalten und bei der Ringlage die analogen Grössen mit $r_1 R_1 \varrho_1 E_1 e_1$ bezeichnet werden; beide Materialien werden als isotrop angesehen. Nimmt man an, dass nach dem Erkalten der Ringe zwischen dem Kernrohre und der Ringlage

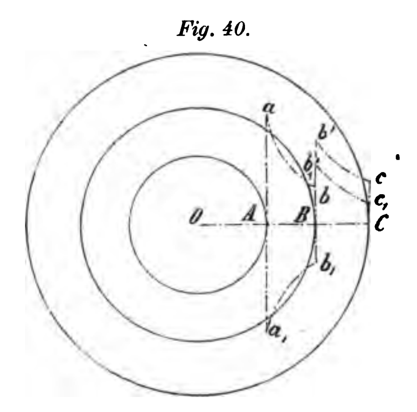
der Druck p_0 auf die Flächeneinheit herrscht, dass infolge dieses Druckes jede Schichte des Kernrohres eine Verkürzung $\Delta_0 x$ des Radius, daher eine tangentiale relative Verdichtung von $\delta_0 x = \frac{2\Delta_0 x\pi}{2x\pi} = \frac{\Delta_0 x}{x}$, und jede Schichte der Ringlage eine Verlängerung $\Delta'_0 x$ des Radius, daher eine tangentiale relative Ausdehnung von $\delta'_0 x = \frac{\Delta'_0 x}{x}$ erfährt, so ist zunächst $R - \Delta_0 R = r_1 + \Delta'_0 r_1$: nachdem diese Aenderungen der beiden Radien sehr klein sind, so kann in Bezug auf die tangentialen Veränderungen, in Bezug auf den zwischen beiden Rohren herrschenden Druck P_0 etc. $R = r_1$ gesetzt werden. Unter der Voraussetzung, dass sowol die Verkürzung der Radien des Kernrohres als auch die Verlängerung jener der Ringlage ohne Aenderung der bezüglichen Querschnittsfläche stattfindet, ist $\delta_0 x = \delta_0 r \cdot \frac{r^2}{x^2}$ und $\delta'_0 x = \delta'_0 r_1 \frac{r_1^2}{x^2}$, ferner, wenn man die diesen tangentialen relativen Aenderungen entsprechenden Pressionen im Kernrohre mit η_x, die Spannungen in der Ringlage mit η'_x bezeichnet, innerhalb der Elasticitätsgrenze $\eta_x = \eta_r \frac{r^2}{x^2}$ und $\eta'_x = \eta'_{r_1} \frac{r_1^2}{x^2}$. Die totale Pression des Kernrohres ist $\Sigma\eta = 2l\int_r^R \eta_x dx = 2lr \frac{R-r}{R} \eta_r$, die totale Spannung der Ringlage $\Sigma\eta' = 2l\int_{r_1}^{R_1} \eta'_x dx = 2lr_1 \frac{R_1 - r_1}{R_1} \eta'_{r_1}$, der totale Druck von aussen auf das Kernrohr und von innen auf die Ringlage $P_0 = 2p_0 Rl = 2p_0 r_1 l$: aus $\Sigma\eta = P_0$ und $\Sigma\eta' = P_0$ folgt

$$\eta_r = p_0 \frac{R^2}{r(R-r)} = \frac{p_0}{\varrho(1-\varrho)},$$

$$\eta'_{r_1} = p_0 \frac{R_1}{R_1 - r_1} = \frac{p_0}{(1-\varrho_1)}, \text{ daher}$$

$$\eta'_{r_1} = \eta_r \frac{rR_1}{R^2} \cdot \frac{R-r}{R_1 - r_1} = \eta_r \frac{\varrho(1-\varrho)}{1-\varrho}.$$

Fig. 40.



Die Curve der η_x und der η'_x nehmen ungefähr den in *Fig. 40* durch $a_1 b_1$ und $b'_1 c_1$ angezeigten Verlauf: da $\eta_x < \varepsilon$ sein muss, so folgt für die beste Ausnützung der Druckfestigkeit im Kernrohre $\eta_r = \varepsilon$.

Der Druck P_0 wird durch die Differenz D der Radien R und r_1 erzeugt; diese Differenz ist $D = R - r_1 = \Delta_0 R + \Delta'_0 r_1$. Die Grössen $\Delta_0 R$ und $\Delta'_0 r_1$ bestimmen sich aus

$$\Delta_0 R = R\delta_0 R = R\frac{\eta_R}{E} = R\frac{\eta_r}{E}\cdot\frac{r^2}{R^2} = R\frac{p_0}{E}\frac{r^2}{r(R-r)} = R\frac{p_0}{E}\frac{r}{R-r}$$

und $\Delta'_0 r_1 = r_1\delta'_0 r_1 = r_1\frac{\eta'_{r_1}}{E_1} = r_1\frac{p_0}{E_1}\frac{R_1}{R_1 - r_1}$, daher ist

$D = R\frac{p_0}{E}\frac{r}{R-r} + r_1\frac{p_0}{E_1}\frac{R_1}{R_1-r_1}$, oder wenn R anstatt r_1 und $\frac{r}{R} = \varrho$, $\frac{r_1}{R_1} = \varrho_1$ eingeführt wird, $D = Rp_0\left(\frac{1}{E}\frac{\varrho}{1-\varrho} + \frac{1}{E_1}\frac{1}{1-\varrho_1}\right)$.

Wird für Kernrohr und Ringlage dasselbe Material verwendet, so ist $E_1 = E$ und $D = R\cdot\frac{p_0}{E}\left(\frac{\varrho}{1-\varrho} + \frac{1}{1-\varrho_1}\right)$.

2.) Beim Auftreten des Gasdruckes p. Im Kernrohr werden die Pressionen aufgehoben und in Spannungen verwandelt, in der Ringlage werden die schon vorhandenen Spannungen vergrössert.* Für das Kernrohr sollen wieder die Bezeichnungen q_x und μ_x beibehalten, für die Ringlage die analogen Bezeichnungen q'_x und μ'_x eingeführt werden.

Die schliessliche Spannung ist im Kernrohre $\mu_x = q_x - \eta_x$, in der Ringlage $\mu'_x = q'_x + \eta'_x$, und es muss $\mu_x < e$, $\mu'_x < e_1$ sein; die günstigste Ausnützung der Zugfestigkeit bedingt $\mu_r = e$ und $\mu'_{r_1} = e_1$. Wenn wieder vorausgesetzt wird, dass die durch den Gasdruck hervorgebrachte Ausdehnung der Radien in dem ganzen combinirten Rohre ohne Aenderung der Querschnittsfläche erfolgt, so ist $q_x = q_r\frac{r^2}{x^2}$, $q'_x = \frac{E_1}{E}\cdot q_r\frac{r^2}{x^2}$; die totale Zugbelastung ergibt sich im Kernrohr

$$Q = 2lq_r r^2\int_R^r\frac{\delta x}{x^2} = 2lr\frac{R-r}{R}q_r = 2lr(1-\varrho)q_r,$$ in der Ringlage

$$Q' = 2l\frac{E_1}{E}q_r r^2\int_{R_1}^{r_1}\frac{\delta x}{x^2} = 2l\frac{E_1}{E}q_r r^2\frac{R_1 - r_1}{r_1 R_1} = 2l\frac{E_1}{E}q_r r\varrho(1-\varrho_1),$$

daher im ganzen Rohre $Q_s = Q + Q' = 2lq_r r\left[1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho(1-\varrho_1)\right]$,

und da $Q_s = P = 2prl$ sein muss, so ist $p = q_r\left[1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho(1-\varrho_1)\right]$

* Die Curven *ab* und *b'c* versinnlichen die Spannungsverhältnisse in den beiden Röhren.

der Gasdruck, welchem das Rohr ausgesetzt werden kann. Nachdem ferner $q_r = \mu_r + \eta_r$ und bei günstigster Ausnützung der Festigkeit $\mu_r = e$, $\eta_r = \varepsilon$ ist, so folgt $p = (e + \varepsilon)\left[1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho(1 - \varrho_1)\right]$.

Soll für eine bestimmte Gasspannung p die Wandstärke des combinirten Rohres $R_1 - r$ berechnet werden, so folgt aus obiger Gleichung $(e + \varepsilon)\frac{E_1}{E}\varrho\varrho_1 = (e + \varepsilon)\left(1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho\right) - p$, und da $\varrho\varrho_1 = \frac{r}{R_1}$,

so ist $R_1 = r \dfrac{E_1}{E(1 - \varrho) + E_1\varrho - \frac{p}{e + \varepsilon}E}$.

Hiebei ist zu berücksichtigen, dass der in dieser Gleichung vorkommende Werth $\varrho = \frac{r}{R} = \frac{r}{r_1}$, welcher das Verhältniss der Auftheilung der Wandstärke zwischen Kernrohr und Ringlage ausdrückt, nach $q'_{r_1} = \frac{E_1}{E} q_r \frac{r^2}{r_1^2} = \frac{E_1}{E} q_r \varrho^2 = \frac{E_1}{E}(e + \varepsilon)\varrho^2$ mit der Beanspruchung der innersten Schichte der Ringe im Zusammenhange steht, dass daher, nachdem $q'_{r_1} = \mu'_{r_1} - \eta'_{r_1}$ ist und μ'_{r_1} als höchsten zulässigen Werth $\mu'_{r_1} = e_1$ hat, während $\eta'_{r_1} = \eta_r \frac{\varrho(-\varrho)}{1 - \varrho_1} = \varepsilon \frac{\varrho(1 - \varrho)}{1 - \varrho_1}$ ist, für den angenommenen Fall der günstigsten Ausnützung der Festigkeit die Gleichung $e_1 - \varepsilon \frac{\varrho(1 - \varrho)}{1 - \varrho_1} = \frac{E_1}{E}(e + \varepsilon)\varrho^2$ besteht; sie dient demnach als Hilfsgleichung, wenn p aus R_1 oder R_1 aus p berechnet werden soll, und bestimmt die günstigste Auftheilung der Wandstärke.

Die Differenz D, um welche der innere Radius des Ringes vor dem Aufziehen kleiner gemacht werden muss, als der äussere Radius des Kernrohres, ist $D = Rp_0\left[\frac{1}{E} \cdot \frac{\varrho}{1 - \varrho} + \frac{1}{E_1} \cdot \frac{1}{1 - \varrho_1}\right]$, und wenn $p_0 = \eta_r \frac{r(R - r)}{R^2} = \varepsilon\varrho(1 - \varrho)$ eingesetzt wird, $D = R\varepsilon\left[\frac{\varrho^2}{E} + \frac{1}{E_1}\frac{\varrho(1 - \varrho)}{1 - \varrho_1}\right]$.

Sind Kernrohr und Ringlage aus demselben Material ($E_1 = E$, $e_1 = e$), so ist, wenn p gegeben: $R_1 = r\frac{e + \varepsilon}{e + \varepsilon - p}$, und wenn die Wandstärke gegeben: $p = \frac{R_1 - r}{R_1}(e + \varepsilon)$, ferner die Hilfsgleichung für die Auftheilung der Wandstärke $e - \varepsilon\frac{\varrho(1 - \varrho)}{1 - \varrho_1} = (e + \varepsilon)\varrho^2$ und $D = R\frac{\varepsilon}{E}\varrho\frac{1 - \varrho\varrho_1}{1 - \varrho_1} = r\frac{\varepsilon}{E}\frac{1 - \varrho\varrho_1}{1 - \varrho_1}$.

Beispiele. 1.) Aus Gusstahl ($E = 2000000$, $e = 2700$, $\varepsilon = 2700$ kg auf 1 □cm) soll ein Rohr hergestellt werden, welches einer Gasspannung von 4000 Atm. = 4120 kg auf 1 □cm widerstehen soll. Nachdem $p > e$ ist, so kann das Rohr nicht als einfacher Cylinder construirt, sondern muss bereift werden. Man findet $R_1 = r\frac{5400}{1280} = 4\cdot25r$, daher die ganze Wandstärke $R_1 - r = 3\cdot25r$. Für die Auftheilung derselben zwischen Kernrohr und Ringlage findet man aus $2700 - 2700\varrho\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1} = 5400\varrho^2$, $1 - \varrho_1 - \varrho + \varrho^2 = 2\varrho^2(1-\varrho_1)$, wenn berücksichtigt wird, dass $\varrho_1 = \frac{\varrho\varrho_1}{\varrho} = \frac{1}{\varrho}\frac{r}{R}\cdot\frac{r_1}{R_1} = \frac{1}{\varrho}\cdot\frac{r}{R_1} = \frac{0\cdot2353}{\varrho}$ ist, womit sich die Gleichung $\varrho^3 + 0\cdot5294\varrho^2 - \varrho + 0\cdot2353 = 0$ ergibt, $\varrho = 0\cdot523$, daher $R = r_1 = 1\cdot912r$, wofür rund $R = 2r$ gesetzt werden kann; es ist daher die Wandstärke des Kernrohres $R - r = r$, jene der Ringe $R_1 - R = 2\cdot25r$. Der innere Radius der Ringe müsste vor dem Aufziehen um $D = 0\cdot00195r$ kleiner sein. als der äussere Radius des Kernrohres; für $r = 20$ cm wäre $D = 0\cdot39$ mm.

2.) Ueber ein Rohr aus Gusseisen ($E = 1700000$, $e = 1000$ kg auf 1 □cm), dessen Wandstärke $^1/_2$ Kaliber beträgt ($R - r = r$, daher $R = 2r$), sollen Ringe (Fretten) aus Gusstahl ($E_1 = 2000000$, $e_1 = 2700$ kg auf 1 □cm) derart aufgezogen werden, dass die innerste Schichte desselben eine Pression von $\varepsilon = 3000$ kg auf 1 □cm erleidet; welche Stärke müssen die Fretten erhalten und welchem Gasdrucke kann dann das Rohr ausgesetzt werden? Nachdem hier $\varrho = \frac{r}{R} = 0\cdot5$ bekannt ist, so findet man aus der Gleichung

$$e_1 - \varepsilon\varrho\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1} = \frac{E_1}{E}(e+\varepsilon)\varrho^2,\ \varrho_1 = 0\cdot508$$

oder rund $\varrho_1 = 0\cdot5$, daher $R_1 = 2R = 4r$, die Wandstärke der Ringe $R_1 - r_1 = 2r = 1$ Kaliber und jene des ganzen Rohres $R_1 - r = 3r = 1^1/_2$ Kaliber. Aus $p = (e+\varepsilon)\left[1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho(1-\varrho_1)\right]$ folgt $p = 3176$ kg auf 1 □cm = 3080 Atm.; ebenso aus $D = R\varepsilon\left[\frac{\varrho^2}{E} + \frac{\varrho}{E_1}\cdot\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1}\right]$, $D = 0\cdot0012\,R = 0\cdot0024r$, für $r = 15$ cm wäre $D = 0\cdot36$ mm. Es würde also das gusseiserne Rohr von $^1/_2$ Kaliber Wandstärke, welches als solches nur einen Gasdruck von weniger als 500 Atm. aushalten könnte, durch gusstählerne Fretten von 1 Kaliber Wandstärke, die mit einem inneren Radius von $1\cdot9976r$ aufgezogen werden, zum Ertragen einer Gasspannung von über 3000 Atm. geeignet gemacht. — Wollte man umgekehrt ein gusstählernes Rohr von der Wandstärke $= {}^1/_2$ Kaliber durch gusseiserne Fretten von 1 Kaliber Wandstärke verstärken (ϱ und ϱ_1 behalten ihre Bedeutungen, jene von E und E_1 sowie e und e_1 werden verwechselt), so müsste, damit die Ringe durch den Gasdruck nicht über die Elasticitätsgrenze angestrengt werden, $\mu'r_1 = e_1 = 1000$ gesetzt werden. Hieraus ergibt sich der Werth von ηr, $\eta' r_1$, qr und $q'r_1$ auf folgende Art: es ist $\mu'r_1 = e_1 = q'r_1 + \mu'r_1$, nun ist $q'r_1 = \frac{E_1}{E}qr\varrho^2$, und da $qr = e + \eta r$, $q'r_1 = \frac{E_1}{E}(e + \eta_2)\varrho^2$, ferner $\eta' r_1 = \eta r\varrho\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1}$, so besteht die Gleichung

$$e_1 = \frac{E_1}{E}(e + \eta r)\varrho^2 + \eta r\varrho\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1},$$

woraus durch Einsetzen von $e_1 = 1000$. $\frac{E_1}{E} = \frac{17}{20}$. $e = 2700$. $\varrho = \frac{1}{2}$, $\varrho_1 = \frac{1}{2}$ für $\eta_r = 600$ folgt; ferner ist $\eta'_{r_1} = \eta_r \varrho \frac{1-\varrho}{1-\varrho_1} = \frac{1}{2}\eta_r = 300$, für q'_{r_1} bleibt $1000 - 300 = 700$ und q_r ist $e + \eta_r = 2700 + 600 = 3300$.

Die Gasspannung, welcher das Rohr ausgesetzt werden könnte, wäre $p = (e + \eta_r)\left(1 - \varrho + \frac{E_1}{E}\varrho\frac{1-\varrho}{1-\varrho_1}\right) = 2350$ kg auf 1 □cm = 2280 Atm.

Dieses Rohr könnte also nur einen um 800 Atm. kleineren Gasdruck aushalten als das frühere; die Ursache ist klar: nachdem das Material der Ringe eine kleine Zugfestigkeit hat, so kann das Kernrohr nicht genügend zusammengepresst werden, ohne dass eine Ueberanstrengung der innersten Schichte der Ringe erfolgt, somit wird die Druckfestigkeit des Kernrohres nur im geringen Grade (hier $\eta_r = 600$ kg auf 1 □cm) ausgenützt. Hieraus folgt, dass man bei bereiften Rohren, wenn sie aus Materialien von verschiedener Festigkeit hergestellt werden sollen, das widerstandsfähigere Material für die Ringe und das schwächere Material für das Kernrohr verwenden muss. Hierin unterscheiden sich, abgesehen von der Fabricationsweise, die Ringrohre von den Mantelrohren, bei welch' letzteren das Material des Kernrohres die grösste Widerstandsfähigkeit haben muss. —

Bei zwei oder mehr Ringlagen lassen sich die Verhältnisse nach den für Eine Ringlage entwickelten Grundsätzen leicht entwickeln, worauf hier nicht weiter eingegangen wird.

b) Wirkung des Bodendruckes.

Der Druck des Pulvergases auf den Stossboden des Rohres strebt eine Ausdehnung desselben nach der Länge, daher ein Abreissen nach dem Querschnitte an; dies geschieht jedoch nur in dem Theile hinter den Schildzapfen, weil nur durch Festhalten dieser letzteren in ihren Lagern eine solche Wirkung möglich ist. Bedeutet p die grösste im Rohre auftretende Gasspannung, so ist der Druck auf den Stossboden $r^2\pi p$, und da die angegriffene Fläche $(R^2 - r^2)\pi$ ist, so muss, damit die Belastung nicht über die zulässige Grenze e geht, $r^2\pi p < (R^2 - r^2)\pi e$ und darf höchstens $r^2\pi p = (R^2 - r^2)\pi e$ sein. Hierauf muss bei Bestimmung der Wandstärke des Rohres Rücksicht genommen werden.

Die Wandstärke, welche der Bodendruck bedingt, wäre:

für $\frac{p}{e}$ =	$\frac{1}{2}$,	1.	$1^1/_2$.	2.	$2^1/_2$.	3.	$3^1/_2$.	4.
für $\frac{R-r}{2r}$ =	0·124.	0·207.	0·290.	0·366.	0·435.	0·5.	0·561.	0·618 Kaliber.

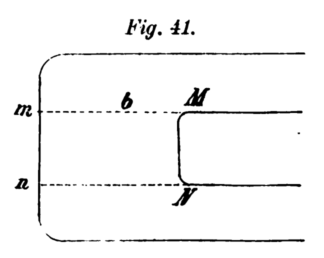
Nachdem für auf gewöhnliche Art (Massivguss, Schmieden) erzeugte einfache Rohre $p < e$ sein muss, so genügt eine Wandstärke von 0·2 Kaliber, um das Abreissen zu verhindern; diese Stärke ist bedeutend geringer als jene, welche das Rohr im rückwärtigen Theile erhalten muss, damit es nicht nach der Länge aufgerissen werde, daher bei solchen Rohren auf das mögliche Abreissen nach

dem Querschnitt nicht reflectirt zu werden braucht. Ebenso genügt bei künstlich verstärkten einfachen Rohren die zur Sicherheit gegen den Seitendruck nöthige Wandstärke auch gegen den Bodendruck, da der letztere, selbst wenn $p = 3e$ ist, nur eine Wandstärke von $^1/_2$ Kaliber bedingt. Hingegen ist bei Ringrohren zu berücksichtigen, dass die Ringe das Kernrohr gegen das Abreissen nicht schützen, daher die Wandstärke dieser letzteren allein hiezu genügen muss.

So würde das im zweiten Beispiel zu *d)* angeführte Kernrohr aus Gusseisen, nachdem $\frac{p}{e} = 3 \cdot 176$ ist, gegen den Bodendruck eine Wandstärke von mehr als $^1/_2$ Kaliber erfordern, während sie auf Basis des Seitendruckes mit $^1/_2$ Kaliber bestimmt wurde; hier müsste also eine kleine Verstärkung des Kernrohres platzgreifen; es genügt übrigens vollständig, wenn $R - r = 1 \cdot 1r$ gemacht wird, da dies dem Gasdrucke von 3410 *k/g* auf 1 □%m entsprechen würde.

Bei den Mantelrohren muss das Bodenstück ein Theil desjenigen Mantels sein, welcher die Schildzapfen trägt (der äusserste, wenn alle Mäntel bis über die Schildzapfen reichen), da sonst durch den Bodendruck die nicht mit Pressung über einander gezogenen Röhren verschoben werden; es wird daher dieser Mantel und nicht das Kernrohr nach der Länge ausgedehnt. Die angegriffene Fläche ist dann $(R^2{}_n - r^2{}_n)\pi$, welche bei gleicher Wandstärke weitaus grösser ist, als jene des Kernrohres, so dass auch hier die für die Sicherheit gegen das Aufreissen bestimmte Wandstärke in der Regel keiner Rectification bedarf.

Fig. 41.



Ausserdem wirkt der Bodendruck auf Hinausstossen des Bodens, d. h. er trachtet aus der rückwärtigen Wand des Rohres einen Cylinder *MNmn (Fig. 41)* abzuscheren und hinaus zu treiben; damit dies nicht geschehe, muss die Stärke *b* des Bodens eine genügende sein. Nachdem das Abscheren nach der Mantelfläche des Cylinders *MNmn* geschehen würde, so muss $r^2\pi p < 2r\pi b e$ und darf höchstens $r^2\pi p = 2r\pi b e$ sein: hieraus ergibt sich die kleinste zulässige Stärke des Bodens mit $b = r\frac{p}{2e}$.

III. Einrichtung der Nebentheile.

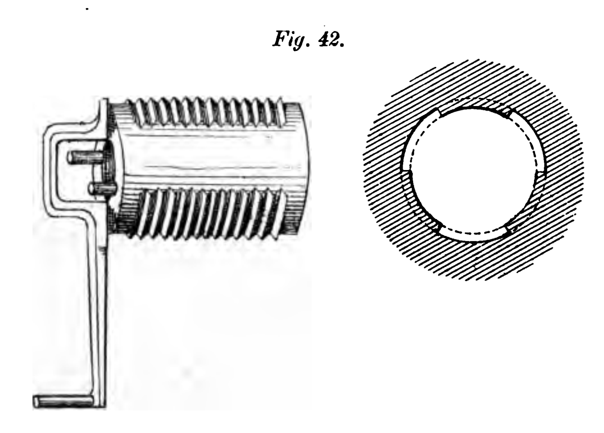
Die wichtigsten Nebentheile eines Rohres sind: der Verschluss bei Hinterladern und die Schildzapfen.

a) Der Verschluss.

Der Verschluss bildet den mobilen Stossboden des Rohres, dessen Bohrung in der Regel durch das zum Einführen der Ladung erforderliche Ladeloch bis nach rückwärts verlängert ist. Man kann

im Wesentlichen zwei Arten von Verschlüssen unterscheiden: der Verschluss tritt entweder als Kolben von rückwärts oder als Querriegel von der Seite (eventuell von oben) in das Rohr ein, um die Bohrung abzuschliessen. Diese einfachen Formen: Kolben und Riegel, sind für sich allein als Verschlüsse ungenügend: der Kolben bedarf, damit er nicht durch den Bodendruck des Pulvergases hinausgeschleudert wird, einer Befestigung; der Querriegel muss, damit er trotz des für seine Bewegung unumgänglichen Spielraumes im Querloche die Bohrung dicht abschliesse, bei oder nach dem Einschieben etwas nach vorwärts gedrückt werden. Diesem wird auf die einfachste Weise entsprochen, wenn der Kolben mit Schraubengewinden versehen, der Querriegel keilförmig construirt wird: Schraube und Keil repräsentiren demnach die einfachsten Formen der beiden Verschlussarten.

Fig. 42.



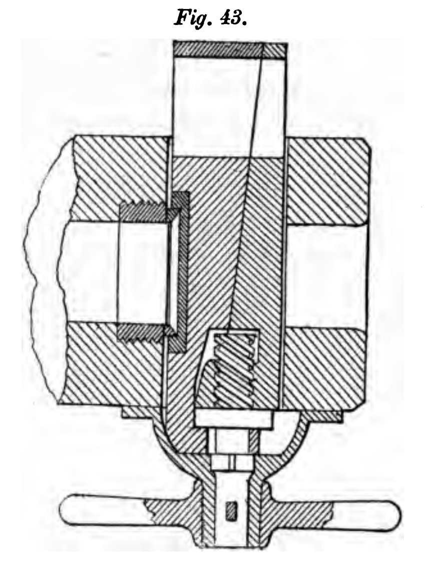
Nachdem bei der gewöhnlichen Schraube das Ein- und Ausschrauben zu viel Zeit in Anspruch nehmen würde, so werden die Schraubengewinde sowie die Muttergewinde im Rohre an mehreren Stellen der Länge nach abgestossen (durchbrochene oder filetirte Schraube, *Fig. 42)*, so dass sich der Schraubenbolzen ungehindert aus- und einschieben lässt, wenn die stehen gebliebenen Theile der Schraubengewinde mit den ausgestossenen Theilen der Muttergewinde correspondiren, und eine kleine Drehung der Schraube genügt, um den Eingriff der beiderseitigen Gewindtheile zu bewirken und den Schraubenbolzen zu versichern. Die Schraube erfordert einen Support, von welchem sie beim Zurückziehen aufgenommen wird, um zum Freimachen des Ladeloches nach seitwärts gedreht oder verschoben zu werden.* — Eine andere Form des Schraubenverschlusses ist eine Schraubenmutter, welche auf den rückwärtigen, mit Schraubengewinden versehenen Theil des Rohres aufgeschraubt wird.

Beim Keilverschluss wird der Keil in der Regel von seitwärts eingeschoben; das Einpressen desselben zum dichten Abschluss der Bohrung geschieht

* Dieser Schraubenverschluss kommt bei den französischen und schwedischen Geschützen vor.

gewöhnlich durch eine, in der Längenrichtung des Keiles wirkende Schraube.* — Eine Abart ist der Doppelkeil-Verschluss *(Fig. 43);* nach dem Einschieben des Keils wird der rückwärtige Theil desselben mittelst einer Schraube noch weiter vorgeschoben, wodurch das feste Einpressen erzielt wird.**

Fig. 43.



Ausserdem kommen aus Bolzen (Schraube) und Querriegel combinirte Verschlüsse vor, u. zw. bildet entweder ein Querriegel (Quercylinder) die Versicherung des Verschlusskolbens, welcher alsdann nicht mit Schraubengewinden versehen ist,*** oder es wird eine von rückwärts eingreifende Schraube angewendet, um einen den Verschluss bildenden Querriegel gegen die Bohrungswand zu pressen.†

Zur Dichtung des Verschlusses wird in der Regel ein elastischer metallener (stählerner oder kupferner) Ring†† angewendet; er wird entweder in das Rohr vor dem Verschlusse oder (bei Kolbenverschlüssen) in den Verschluss fix eingesetzt, kann aber auch (bei kleineren Geschützen) als mobiler Abschlussboden vor jedem Schusse in die Bohrung eingeführt und nach dem Schusse wieder entfernt werden.

b) Die Schildzapfen.

Nachdem der auf den Stossboden wirkende Druck des Pulvergases infolge des Zurückweichens des Rohres auf die Schildzapfen übertragen wird, so muss die Stärke der letzteren derart bestimmt werden, dass sie diesem Drucke mit Sicherheit widerstehen. Die Schildzapfen werden hiebei auf Bruchfestigkeit in Anspruch genommen

---

* Siehe erster Theil, Verschlüsse der gusstählernen und broncenen Marinegeschütze.

** Kreiner'scher Verschluss, bei einigen preussischen Geschützen in Anwendung.

*** Siehe erster Theil, Verschlüsse der gusseisernen Geschütze.

† Armstrong-Verschluss, bei einigen älteren englischen Geschützen in Anwendung; das Querstück wird von oben eingeschoben, die Schraube braucht nur jedesmal gelüftet und angezogen zu werden.

†† Andere Mittel, als Kautschuk- oder Lederringe, sind ihrer geringen Haltbarkeit wegen, besonders bei schweren Geschützen, nicht verwendbar.

und müssen als ein cylindrischer, beiderseits festgeklemmter Balken angesehen werden, welcher durch $r^2\pi p$ zwischen den Aufliegepunkten gleichmässig belastet ist. Bezeichnet r' den Radius der Schildzapfen, A die Entfernung der Aufliegepunkte derselben (die Angussweite), e' die grösste zulässige Bruchbelastung des Materials, so muss

$\frac{1}{16} r^2\pi p \cdot A = \frac{1}{4} r'^3\pi e'$ sein, woraus $r' = \sqrt[3]{\frac{r^2 A}{4} \frac{p}{e'}}$ folgt.

Für $p = e'$ und $A = 8r$ ist $r' = r\sqrt[3]{2} = 1 \cdot 26 r$. Würden die Schildzapfenscheiben ganz dicht, ohne Spielraum, an die Schildpfannen der Laffete anschliessen, so dass ohne Möglichkeit einer vorhergängigen Ausdehnung der Schildzapfen nur ein Abscheren derselben eintreten könnte, so wäre $r^2\pi p = 2 \cdot r'^2\pi e$ zu setzen, woraus sich $r' = r\sqrt{\frac{1}{2} \frac{p}{e}}$ ergeben würde. Für $p = e$ wäre dann $r' = 0 \cdot 707 r$, also bedeutend geringer, als bei Zugrundelegung der Bruchbelastung, wenn die grösste zulässige Bruchbelastung des Materials e' der grössten zulässigen Zugbelastung e gleich geachtet wird. In der Regel ist aber der Brechungsmodul grösser, als jener der Zugfestigkeit, so dass sich bei der gewöhnlich vorkommenden Angussweite von 4 Kalibern ($A = 8r$) die nach beiden Formeln berechneten Radien der Schildzapfen einander nähern und für Gasspannungen, welche die Elasticitätsgrenze des Materials nicht viel übersteigen, ungefähr $^1/_2$ Kaliber stark gemacht werden.

Die Festigkeit der Schildzapfen ist von der Länge derselben unabhängig, diese also für die Festigkeit ohne Bedeutung. Man macht die Schildzapfen so lang, als dies für die gute Lagerung in den Schildpfannen und für die Vertheilung des von den Schildzapfen auf die Laffete übergehenden Stosses auf eine grössere Fläche nothwendig ist: die Schildzapfenlänge ist also durch die Construction der Laffete bedingt. Ebenso ist die Laffeten-Construction für die Position, in welcher die Schildzapfen am Rohre angebracht werden, massgebend. Die normale und bei den neueren Geschützen häufigste Anbringungsweise der Schildzapfen ist jene, vermöge welcher die Axe derselben die Rohraxe schneidet und durch den Schwerpunkt des Rohres geht: hiebei ist das Rohr in jeder Lage in den Schildzapfen balancirt, kann demnach mit dem geringsten Kraftaufwande in beliebige Neigungen gebracht werden.

Durch den Druck des Pulvergases auf den Stossboden wird das Rohr nach rückwärts gestossen, wodurch der Rücklauf desselben sammt der Laffete hervorgerufen wird. Nachdem die Schildzapfen stets einen, wenn auch kleinen, Spielraum in den Schildpfannen haben, so wird sich im ersten Momente des Rückstosses das Rohr allein nach rückwärts bewegen, bis die Berührungslinie zwischen Schildzapfen und Pfannen, welche ursprünglich in *a* *(Fig. 44)* ist, bis nach *b*

gerückt ist. Nachdem der Rückstoss in der Rohraxe, welche bei obiger Anordnung der Schildzapfen mit *cb* zusammenfällt, wirkt, während im ersten Moment desselben die Drehaxe des Rohres (Berührungslinie der Schildzapfen und Pfannen) unter *bc* liegt, so wird durch den excentrischen Stoss eine Anregung zur Drehung von oben gegen rückwärts erzeugt; diese Drehung gelangt nur insoweit zur Ausführung, als die Richtmaschine, eventuell der rückwärtige Theil der Laffete oder der Unterlage, nachgibt, wird dann aber durch die Repulsion der Richtmaschine in das Gegentheil, nämlich in die Drehung von oben gegen vorwärts verwandelt: dies ist die Ursache des Bückens des Rohres.

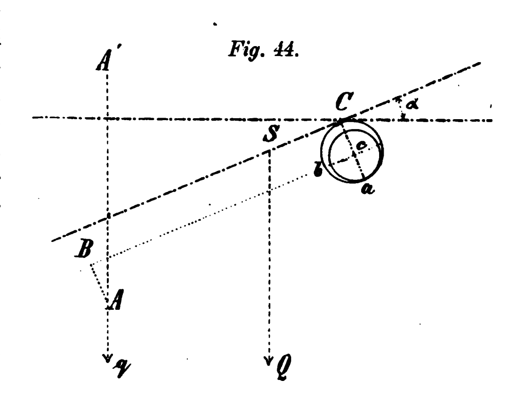


Fig. 44.

Geschieht das Ansteigen der Schildzapfen, beim Uebergang der Berührungslinie der Schildzapfen und -Pfannen von *a* zu *b*, sowie die beginnende Drehung des Rohres noch vor dem Austreten des Geschosses aus der Mündung, wie dies der Beobachtung nach der Fall ist, so kann das Rohr im Abgangsmomente des Geschosses eine andere Neigung haben als jene, welche ihm vor dem Schusse gegeben wurde; in der Regel ist der Geschossabgangswinkel grösser als der Elevationswinkel des Rohres, die Differenz wird Erhebungswinkel genannt und muss bei Ertheilung der Elevation berücksichtigt werden.

Die Herabsetzung der Schildzapfen hat den Zweck, das Rohr mehr aus der Laffete herauszuheben, d. h. die Rohraxe in eine für die praktische Handhabung bequeme Höhe zu bringen, ohne die Höhe der Laffete zu steigern, durch welch' letzteres das Gewicht der Laffete vermehrt, die Stabilität aber vermindert wird: auch lässt sich durch dieses Höherlegen der Rohraxe bei gleicher Laffetenhöhe dem Geschütze eine grössere Elevation geben. Die Entfernung der Schildzapfenaxe von der Unterlage des Geschützes (vom Boden) heisst Lagerhöhe, die Entfernung der horizontal gestellten Rohraxe vom Boden aber Feuerhöhe des Geschützes.

Durch die Vorsetzung der Schildzapfen wird eine Vertheilung des Rohrgewichtes zwischen Schildzapfen und Richtmaschine, daher eine Belastung der letzteren, die Hinterwucht, erzielt. Diese ist nothwendig, wenn die Richtmaschine nicht mit dem Rohre verbunden ist, damit dieses folgen könne, wenn die Richtmaschine gesenkt wird. Damit dies mit Sicherheit geschehe, muss die Hinterwucht beträchtlich

grösser sein als jener Druck, welcher zur Ueberwindung der Reibung der Schildzapfen in den Pfannen nothwendig ist. Die Hinterwucht ist von der Vorsetzung der Schildzapfen, von der Construction und der Entfernung der Richtmaschine von der Schildzapfenaxe, ferner von der Rohrelevation, und falls eine Herabsetzung der Schildzapfen vorhanden, auch von dieser abhängig.

Ist S *(Fig. 44)* der Rohrschwerpunkt, AA' die Verticallinie, in welcher das Rohr durch die Richtmaschine unterstützt ist, c die Schildzapfenaxe, $SC = v$ die Vorsetzung, $Cc = h$ die Herabsetzung der Schildzapfen, s die horizontal gemessene Entfernung der Verticalen durch S von c, z die Entfernung von AA' bis c, α der Elevationswinkel, Q das Gewicht des Rohres, q die Hinterwucht, so ist auf c als Momentanaxe bezogen

$$Qs = Q(v \cos\alpha + h \sin\alpha) = qz, \text{ daher } q = Q\left(\frac{v}{z}\cos\alpha + \frac{h}{z}\sin\alpha\right).$$

Ist der Unterstützungspunkt an der Richtmaschine bei wechselnder Elevation nur in verticaler Richtung veränderlich (wie dies bei einer vertical stehenden Schraube angenommen werden kann), so ist z von α unabhängig, daher constant; im Gegenfalle (wie bei den am Rohre befestigten Richtbögen) ändert sich z mit α. Wäre im letzteren Falle die Entfernung des Unterstützungspunktes von der Schildzapfenaxe parallel zur Rohraxe gemessen $cB = b$, senkrecht darauf $AB = d$, so wäre $z = b\cos\alpha \pm d\sin\alpha$ zu setzen, wobei das obere Zeichen für d nach aufwärts, das untere für d nach abwärts gilt; daher ist allgemein $q = Q\dfrac{v\cos\alpha + h\sin\alpha}{b\cos\alpha \pm d\sin\alpha}$.

Die Belastung der Schildzapfen ist $Q - q$, daher das Moment der Reibung in Bezug auf die Axe c: $M = (Q - q)f'r_1$, wo f' den Coëfficienten der Zapfenreibung, r_1 den Radius der Schildzapfen bedeutet; folglich muss $qz > (Q - q)f'r_1$ sein.

Beispiel. Es sei $v = 2$ %m, $h = 4$ %m, $b = 100$ %m, $-d = 5$ %m, $r_1 = 8$ %m, $f' = 0{\cdot}08$; man findet für die horizontale Rohrlage ($\alpha = 0$) aus $q = Q\frac{v}{a} =$ $= 0{\cdot}02Q$, $z = b = 100$, $qz = 2Q$ und $M = 0{\cdot}6272Q$, — für $\alpha = 5^0$: $q = 0{\cdot}0236Q$, $z = 99{\cdot}184$, $qz = 2{\cdot}341Q$, $M = 0{\cdot}6249Q$, — für $\alpha = 10^0$: $q = 0{\cdot}0273Q$, $z = 97{\cdot}612$, $qz = 2{\cdot}664Q$, $M = 0{\cdot}6225Q$. Nachdem das Moment der Hinterwucht schon bei horizontaler Rohrlage hinreichend grösser ist, als jenes der Reibung, nachdem ferner mit dem Wachsen der Elevation die Hinterwucht zu-, die Reibung abnimmt, so kann die Hinterwucht als für alle Fälle genügend angesehen werden, um das Rohr mit der Richtmaschine in Verbindung zu halten. Wäre z constant und $= b = 100$ %m, so wäre für $\alpha = 5^0$: $q = 0{\cdot}0234Q$, für $\alpha = 10^0$: $q = 0{\cdot}0266Q$, also nur unbedeutend kleiner als früher.

Es ist zu bemerken, dass, wenn selbst das Rohr principiell keine Hinterwucht hat ($v = 0$, $h = 0$), diese dennoch nach dem Einführen des Geschosses und der Ladung, welche beide im Hintertheile des Rohres zu liegen kommen, auftreten muss. Diese Hinterwucht bestimmt sich, wenn G das Geschoss-, L das Ladungsgewicht, g und l die Entfernung der bezüglichen Schwerpunkte von der Schildzapfenaxe bedeuten, mit $q' = \frac{Gg + Ll}{z}$. Wäre $G = 0 \cdot 01 Q$, $L = 0 \cdot 002 Q$, $g = 30$ %m, $l = 60$ %m, $z = 100$ %m, so wäre $q' = 0 \cdot 0042 Q$.

Die Vorsetzung der Schildzapfen vermindert infolge der Hinterwucht die Labilität des Rohres, trägt also zur Ermässigung des Bückens bei. Hingegen wirkt die Herabsetzung der Schildzapfen im umgekehrten Sinne, indem sie den Hebelsarm des Rückstosses in Bezug auf die Drehaxe vergrössert, daher die Anregung zur Drehbewegung befördert; allerdings erzeugt sie auch für sich allein bei Elevation eine Hinterwucht, denn es ist für $v = 0$, $q = Q \frac{h}{z} \sin \alpha$, diese ist aber sehr unbedeutend und compensirt nicht die verstärkte Drehanregung.

Die Laffeten (Schleifen) der Mörser haben in der Regel die Richtmaschine vor der Schildzapfenaxe, daher bei dieser Geschützgattung häufig die Schildzapfenaxe vor den Schwerpunkt gesetzt ist.

c) Sonstige Nebentheile.

Beim *Zündloch* ist nebst dem Durchmesser desselben die Richtung, in welcher es geführt ist, und die Einmündungsstelle in den Ladungsraum von Bedeutung. Die Stelle, wo das Zündloch in den Ladungsraum einmündet, ist für die Verbrennungsweise der Pulverladung massgebend. Diese Stelle wird entweder im Centrum des Stossbodens oder in der Mantelfläche des Ladungsraumes angenommen; die erstere Zündungsart heisst bekanntlich Centralzündung, die letztere aber Oberzündung, weil das Zündloch in der Regel von oben gegen die Bohrung geführt ist. Bei Oberzündung verlegt man die Einmündung höchstens auf $^1/_3$ der Länge des Ladungsraumes vom Stossboden, weil die Entzündung der Patrone nahe am rückwärtigen Ende kleinere Gasdrücke auf den Stossboden bedingt.* — Infolge der Gasentweichung durch das Zündloch und der dadurch hervorgerufenen Reaction in der entgegengesetzten Richtung entsteht ein Druck auf einen in der Verlängerung der Zündlochaxe liegenden Punkt der Bohrung, dessen Grösse vom Durchmesser des Zündloches und dessen Richtung von der Richtung der Zündlochaxe abhängig ist. Wirkt dieser Druck von oben, wie bei der Oberzündung, so wird durch denselben die Belastung der Richtmaschine vergrössert; dies geschieht im grössten Grade, wenn die

---

* Das Nähere hierüber im vierten Abschnitt.

Zündlochaxe dieselbe Richtung hat, wie die Unterstützungslinie der Richtmaschine, also, horizontale Rohrlage vorausgesetzt, wenn die Zündlochaxe senkrecht zur Rohraxe geführt ist. Um diesen Druck zu vermindern, gibt man dem Zündloch einen möglichst kleinen Durchmesser* und der Zündlochaxe häufig eine nach rückwärts geneigte Richtung. Hiedurch wird noch der praktische Vortheil erreicht, dass die Patrone mit der Raumnadel leichter und bequemer aufgestochen werden kann: zu gleichem Zweck wird auch das Zündloch aus der Oberlage nach seitwärts verlegt. Nachdem das Zündloch Erweiterungen infolge von Ausbrennungen durch die Pulvergase sehr stark ausgesetzt ist, so wird dasselbe gewöhnlich nicht direct in den Rohrkörper, sondern in einen eingesetzten Zündlochstollen oder Kern gebohrt, welcher bei weit fortgeschrittener Ausbrennung des Zündloches gewechselt werden kann: den Zündlochkern macht man gewöhnlich aus Kupfer, weil dieses durch das Pulvergas weniger angegriffen wird als andere Metalle.

Die Ausnehmungen und *Kanäle für die Aufsätze* werden möglichst nahe der Bodenfläche des Rohres angebracht, einerseits um die vitalen Theile des Rohres nicht zu schwächen, anderseits um das Visiren zu erleichtern. Die Entfernung der Visirkorne von den Aufsätzen (die Länge der Visirlinie) darf nicht zu klein sein, damit sich eventuelle Fehler in der Aufsatzstellung oder Visur nicht am Zielobjecte zu sehr potenziren: anderseits darf diese Entfernung nicht jene Grenze überschreiten, welche noch ein scharfes Erfassen der Kornspitze mit dem Auge gestattet. Bei längeren Geschützen, bei welchen die Postirung des Visirkornes am Geschosskopfe unthunlich, müssen die Aufsätze und Visirkorne seitlich von der Rohrmitte angebracht werden, da sonst der Rohrvordertheil in die Visur tritt und das Visiren unmöglich macht.

Häufig haben die Geschütze, besonders solche älteren Sistems, eine Verstärkung am Kopfe (den eigentlichen *Kopf*). Diese Verstärkung hat den Zweck, das Austreiben der Bohrung an der Mündung durch Geschossanschläge zu verhindern. Nachdem solche Geschossanschläge bei den Geschützen neuen Sistems nicht vorkommen, so wird der Rohrkopf als diesbezüglich zwecklos grösstentheils weggelassen oder als Mittel zum leichteren Erfassen des Rohres bei

* Dass dies auch aus Ursache der geringeren Gasentweichung selbst geschieht, ist wol selbstverständlich.

Manipulationen (Abtransportirungen etc.) angebracht. Zu letzterem Zweck dient auch die *Traube* am rückwärtigem Rohrende, welche bei Vorderladern gewöhnlich vorkommt.

Schlussbemerkungen.

Das Verhältniss der beiden Geschützsisteme: *Vorderlader, Hinterlader* — zu einander lässt sich wie folgt präcisiren: Der Vorderlader ist principiell Spielraumgeschütz, der Hinterlader aber Nichtspielraumgeschütz; dem ersteren Sistem ist die Warzen- oder Leistenführung, dem letzteren die Pressions- (Mantel- oder Ring-) Führung die entsprechendste. Die diesem Grundsatze widersprechenden Sisteme: Vorderlader mit Pressionsführung und Hinterlader mit Spielraum — sind als Bestrebungen zu betrachten, die Mängel des einen Sistems durch Entlehnung der vortheilhaften Seiten des anderen zu verbessern.

Bei Erwägung der Vor- und Nachtheile der beiden Sisteme müssen dieselben unter den drei Gesichtspunkten: Treffsicherheit. Ausdauer der Rohre, Bedienung des Geschützes — betrachtet werden.

Die vortheilhafteste Geschossführung, nämlich jene, welche das Geschoss während der ganzen Bewegung im Rohre centrirt erhält und daher die grösste Treffsicherheit bedingt, wird beim Hinterlader auf die einfachste Art und in der vollkommensten Weise erreicht, während beim Vorderlader eigenthümliche Zugprofile in Anwendung treten müssen, um eine theilweise und unvollkommene Centrirung des Geschosses zu erzielen: in dieser Beziehung ist daher das Hinterladsistem jenem des Vorderladers zweifellos überlegen.

Die Ausdauer des Rohres hängt von der in demselben herrschenden Gasspannung, in erster Linie von der Maximalgasspannung, ab; das Anwachsen der Gasspannung im Ladungsraume, daher die Anstrengung des Rohres, wird befördert, wenn die anfängliche Bewegung des Geschosses verzögert wird. Dies geschieht im Hinterlader, wo sich das Führungsmittel in die Züge einpressen muss, während im Vorderlader durch das leichtere Weichen des Geschosses der Raum für die Ausbreitung des Gases rascher erweitert, daher die Maximalspannung vermindert wird.* Diesbezüglich ist somit der Vorderlader im Vortheil; dieser Vortheil spricht sich hauptsächlich im Kostenpunkte aus, da der Vorderlader aus einem weniger widerstandsfähigen, daher billigeren Material (z. B. Schmiedeisen anstatt Stahl) hergestellt werden kann.

Das Manuelle der Geschützbedienung ist beim Vorderlader unzweifelhaft einfacher, da die Manipulation des Verschlusses entfällt; insofern als die letztere zu Störungen Anlass geben kann, ist die Bedienung des Vorderladers auch sicherer. Hingegen kann beim Vorderlader ein eventuelles Steckenbleiben des Geschosses (besonders beim längeren Schiessen infolge von Verschleimungen der Bohrung) eine Störung verursachen, welche beim Hinterlader nicht leicht vorkommen kann. Nichtsdestoweniger wird bei kleineren Kalibern und bei ungedeckter Aufstellung des Geschützes der Vortheil einer grösseren Feuerschnelligkeit

* Hier muss von den Mitteln, welche sonst zur Ermässigung der Gasspannung dienen, als: Wahl einer entsprechenden Pulversorte, Anwendung des Progressivdralles etc., abgesehen werden, da sie beiden Sistemen zu Gute kommen.

in der Regel auf Seiten des Vorderladers sein. Bei grösseren Kalibern, welche im gedeckten Raume (Schiffsbatterie) aufgestellt sind, wird sich das Verhältniss umkehren, da beim Vorderlader nach jedem Schusse die ganze Bohrung ausgewischt, die Ladung (Pulver und Geschoss) auf eine grössere Länge eingeführt und angesetzt, diese Arbeit, einschliesslich des Einbringens der gewichtigen Ladung in die Mündung, im beschränkten Raume zwischen Mündung und Stückpforte ausgeführt werden muss, während beim Hinterlader alle diese Verrichtungen auf kürzerem Wege vor sich gehen und die Arbeit hinter dem Geschütze im freieren geschützten Raume auszuführen ist. Rechnet man dazu, dass das Innere des Hinterladers von zwei Seiten zugänglich ist, daher eventuelle Störungsursachen in der Bohrung leichter entdeckt und beseitigt, die Bohrungstheile besser gereinigt, die nach dem Schusse in der Bohrung etwa zurückbleibenden glimmenden Theile des Kardussackes leichter entfernt werden können, dass die Einbringung einer doppelten Ladung unmöglich ist etc., so wird man aus praktischen Gründen dem Hinterlader, mindestens was grosse Kaliber anbelangt, den Vorzug geben müssen. —

Die äussere Form eines Geschützrohres ist durch die Wandstärke bedingt, welche dem Rohre in den verschiedenen Theilen gegeben werden muss, um der grössten an der betreffenden Stelle in der Bohrung auftretenden Gasspannung zu widerstehen. Nachdem im Ladungsraume und im rückwärtigen Theile des Fluges bis zu der Stelle, wo sich das Geschoss befindet, wenn die Maximalgasspannung eintritt, eine und dieselbe grösste Spannung (eben die Maximalspannung) herrscht, so wird dieser Theil des Rohres eine durchaus gleiche Wandstärke, daher eine cylindrische Form erhalten müssen. Von dieser Stelle an gegen die Mündung wird die abnehmende Gasspannung eine abnehmende Wandstärke bedingen; diesem Grundsatze wird im Allgemeinen dadurch Rechnung getragen, dass man den Vordertheil des Rohres conisch anordnet. Das Geschützrohr bildet demnach in der Regel einen Cylinder und einen daran anschliessenden Conus. Doch kommen, besonders bei bereiften Rohren, locale Abweichungen von dieser normalen Form vor, indem der bereifte Theil nach vorne zu nicht genau conisch, sondern in Stufen abfallend gemacht wird; ebenso wird die Bereifung, nachdem sie das Kernrohr nur gegen den Seitendruck des Pulvergases schützt, gewöhnlich nicht oder nur in stufenförmig abnehmender Stärke über den Stossboden nach rückwärts geführt, so dass das Bodenstück einen eigenen, sich vom stärksten Rohrcylinder geometrisch unterscheidenden Rohrtheil bildet. —

Obwol die Oekonomie mit dem Rohrmaterial jede nicht durch die Rücksicht auf die genügende Widerstandsfähigkeit des Rohres gebotene Vergrösserung der Wandstärke verbietet und die Forderung nach leichter Maniabilität des Rohres eine möglichste Beschränkung des Rohrgewichtes fordert, so ist doch anderseits zu beachten, dass mit der Verminderung dieses Gewichtes die Rücklaufgeschwindigkeit und die Einwirkungen auf die Laffete verstärkt, daher an die Ausdauer dieser letzteren und an die Mittel zum Hemmen des Rücklaufes höhere Anforderungen gestellt werden. (Siehe den folgenden Abschnitt.) Hierin findet demnach das Streben nach Verminderung des Rohrgewichtes eine Grenze; in der Regel geht man bei den Kanonen mit dem Rohrgewichte nicht unter das 100fache des Geschossgewichtes herab.

Vierter Abschnitt.

Innere Ballistik.

Die Ballistik ist die Lehre von der Bewegung des Geschosses. Die Geschossbewegung wurde im zweiten Abschnitt in allgemeinen Grundzügen, so weit dies für das Verständniss der Geschossconstruction nothwendig war, beschrieben; in der Ballistik wird dieser Gegenstand selbständig, in eingehenderer, hauptsächlich mathematischer Form, im Zusammenhange mit anderen, als Ursache oder Folge der Geschossbewegung auftretenden Verhältnissen, behandelt.

Man unterscheidet die innere und die äussere Ballistik, die erstere hat die Geschossbewegung im Rohre, die letztere jene ausserhalb des Rohres zum Gegenstande. In diesem Abschnitte wird die innere Ballistik abgehandelt. Der Betrachtung der Geschossbewegung soll eine kurze Erörterung über die Verbrennungsweise der Pulverladung und den dadurch bedingten Verlauf der Gasspannung vorhergehen, sowie eine Betrachtung über die Wirkung des Gasdruckes auf den Stossboden, die sich in der Bewegung des Geschützes (dem Rücklaufe) und in der Beanspruchung des Rapertes äussert, folgen.

I. Verbrennungsweise der Pulverladung, Verlauf der Gasspannung.

Nachdem die Pulverladung an der Einmündungsstelle des Zündloches entzündet wurde, schreitet die Entzündung, infolge der Ausbreitung des zuerst entwickelten Pulvergases im Spielraume der Karduse, an der freien Oberfläche der Ladung und vermöge des Eindringens des Gases von der Oberfläche in die Zwischenräume der Pulverkörner in das Innere der Ladung schichtenweise fort; es wird daher jedes Korn im Wesentlichen um so später zur Entzündung kommen, je weiter es vom Entzündungspunkte und von der Oberfläche abliegt.* Da sich das aus der zuerst entzündeten Partie der

* Die Lage des zuletzt zur Entzündung kommenden Kornes ist von dem Verhältnisse der von der Oberfläche in das Innere fortgehenden Entzündungsgeschwindigkeit und jener nach der Oberfläche hin abhängig; die letztere Geschwindigkeit ist unter anderem auch durch das Material und die Stärke des Kardussackes bedingt.

Ladung entwickelte Gas im Spielraume ausbreitet und einen grossen Theil seiner Wärme zur Entzündung anderer Ladungstheile abgibt, so wird die Spannung desselben eine geringe sein; je weiter die Entzündung und die Verbrennung der bereits entzündeten Körner fortschreitet, desto grösser wird die Menge des entwickelten Gases, desto kleiner verhältnissmässig die zur weiteren Entzündung aufgewendete, dem Gase verloren gehende Wärme sein. Es werden demnach während der ganzen Dauer der Verbrennung der Ladung die beiden auf Steigerung der Gasspannung wirkenden Factoren: Gasmenge und Temperatur — in fortwährender Zunahme begriffen sein, während der die Verminderung der Spannung bewirkende Factor: der Ausbreitungsraum der Gase — unter der Voraussetzung, dass sich das Geschoss vor Beendigung des Verbrennungsprocesses nicht in Bewegung setzt, — nur in dem Masse wächst, als sich der noch unverbrannte Theil der Ladung vermindert. Der Einfluss des letzteren Factors ist kleiner als jener der beiden ersteren, es ist daher bei der gemachten Voraussetzung eines unveränderlichen Explosionsraumes die Gasspannung von dem Momente der Entzündung bis zu jenem der vollständigen Verbrennung in fortwährender Zunahme begriffen. Die Zunahme der Gasspannung wird bis zu einem gewissen Momente eine raschere sein, als die Zunahme der Verbrennungszeit; von hier an wird sich das Verhältniss umkehren.

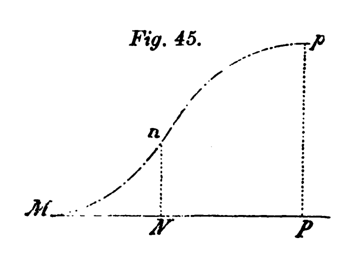


Fig. 45.

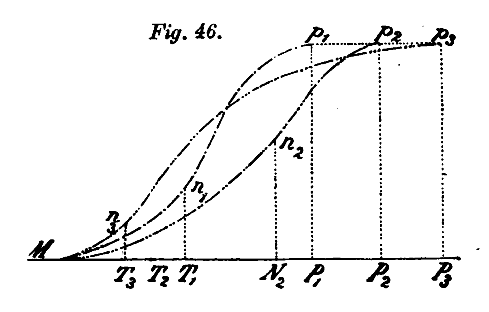
Man kann sich den Verlauf der Gasspannung unter dem Bilde der Curve *Mnp* vorstellen, wo die Abscissen die Verbrennungszeit, die Ordinaten die Gasspannungen darstellen; diese Curve kehrt zuerst die convexe, dann die concave Seite der Abscissenaxe zu. Bei den nur von aussen in gleichmässigen Schichten verbrennenden Pulverkörnern wird der Uebergangsmoment *N* von der rascheren zur langsameren Zunahme der Gasspannung im Wesentlichen mit der Entzündung des letzten Kornes zusammenfallen, daher *MN* die Zeit der vollständigen Entzündung der Ladung darstellen, innerhalb welcher immer mehr Körner an der Gasentwicklung theilnehmen: während der Zeit *NP*, welche die Verbrennungszeit Eines Pulverkornes bedeutet, werden bei allen noch brennenden Pulverkörnern in der gleichen Zeitdauer immer kleinere Flächen abbrennen, daher die

Zunahme der Gasspannung eine immer langsamere sein. Bestünde die Ladung aus Pulverkörnern, welche bloss von innen heraus verbrennen oder welche überhaupt immer grössere Gasmengen liefern, je weiter die Verbrennung fortschreitet, so würde die im Verhältnisse zur Zeit raschere Zunahme der Gasspannung fast bis zum Ende der Verbrennungszeit fortgehen, daher N sehr nahe mit P zusammenfallen. Bei Körnern, welche sowol von aussen als von innen verbrennen, wird ein Uebergangsmoment von der rascheren zur langsameren Zunahme der Gasspannung ebenfalls zu merken sein, aber der Punkt N wird näher an P fallen, als in dem zuerst betrachteten Falle.

Nachdem die Zeit der vollständigen Entzündung der Ladung von der Summe der Oberflächen aller Körner abhängt, so wird sie bei einer Ladung aus feinkörnigem Pulver grösser sein, als bei derselben Ladung aus grobkörnigem Pulver; hingegen wird bei der Verbrennungszeit Eines Kornes das umgekehrte Verhältniss stattfinden (siehe erster Abschnitt). Das grobkörnige Pulver mit Verbrennung von aussen und innen (kanalirtes prismatisches Pulver) wird in beiden Beziehungen zwischen dem feinkörnigen und dem gewöhnlichen grobkörnigen Pulver stehen.

Die totale Verbrennungszeit der Ladung wird, da die Entzündungsgeschwindigkeit weitaus grösser ist als die Verbrennungsgeschwindigkeit, im Wesentlichen demselben Gesetz, wie die Verbrennungszeit Eines Kornes, folgen, also beim feinkörnigen Pulver am kleinsten, beim gewöhnlichen grobkörnigen am grössten, beim kanalirten Pulver mittelgross sein. Diese Verhältnisse und den daraus folgenden Verlauf der Gasspannungscurven kann man sich in der in *Fig. 46* angedeuteten Weise versinnlichen, für welche angenommen wurde, dass in allen drei Fällen eine gleich grosse Ladung in einem und demselben Raume verbrennt und daher eine gleiche schliessliche Gasspannung liefert. MT_1, MT_2, MT_3 bezeichnen die Entzündungs-, MP_1, MP_2, MP_3 die totalen Verbrennungszeiten der Ladung, beziehungsweise aus feinkörnigem, kanalirtem und gewöhnlichem grobkörnigem Pulver, $P_1p_1 = P_2p_2 = P_3p_3$ die schliessliche Gasspannung in den drei Fällen, $n_1\, n_2\, n_3$ die Wendepunkte der Curven, welche für gewöhnliches fein- und grobkörniges Pulver mit T_1 und T_3 zusammenfallen; für kanalirtes grobkörniges Pulver ist der Wendepunkt in die Nähe von P_1 gerückt. Die Folgerungen bezüglich der Gasspannungen in verschiedenen Momenten der Verbrennungszeit sind hieraus leicht zu ziehen.

Fig. 46.



Um die Art und Weise zu ermitteln, wie dieser bei Verbrennung des Pulvers im unveränderlichen Explosionsraume stattfindende Verlauf

der Gasspannung durch die Geschossbewegung modificirt wird, muss zunächst der Moment, in welchem sich das Geschoss in Bewegung setzt, ins Auge gefasst werden.

Wäre das Geschoss absolut leicht beweglich, so dass der geringste auf dasselbe ausgeübte Druck genügt, um es in Bewegung zu setzen (wie dies bei einer in einem Punkte concentrirten und frei schwebend gedachten Masse der Fall wäre), so müsste es sofort im Entzündungsmomente der Ladung die Bewegung beginnen. Infolge der Widerstände, welche bei der Bewegungsertheilung des Geschosses zu überwinden sind,* könnte das Geschoss die Bewegung erst von dem Momente an beginnen, in welchem der Gasdruck auf den Geschossboden den Widerständen das Gleichgewicht hält. Aber auch in diesem Momente wird das Geschoss als Ganzes die Bewegung nicht wirklich anfangen, sondern es wird der Druck zunächst eine Bewegung der Molecule des Geschossbodens bewirken, welche sich erst der ganzen Masse des Geschosses mittheilen muss; die Zeit dieser Mittheilung, im Wesentlichem von der Geschosslänge abhängig, ist zwar an sich sehr klein, aber im Vergleich zu der ebenfalls kleinen Verbrennungszeit der Pulverladung bedeutend genug, damit die während derselben rasch anwachsende Gasspannung schon eine beträchtliche Höhe erreicht. Bei längeren Geschossen, kleinen und sehr rasch verbrennenden Ladungen kann sogar der Anfang der Geschossbewegung mit dem Ende der Pulververbrennung zusammenfallen; in den meisten Fällen jedoch, besonders bei Anwendung von langsamer verbrennenden Ladungen aus grobkörnigem Pulver, wird das Geschoss die Bewegung noch während der Dauer der Pulververbrennung beginnen. Durch die Bewegung des Geschosses wird der Ausbreitungsraum für das Pulvergas erweitert und somit eine Verminderung der Gasspannung verursacht; nachdem die Geschwindigkeit des Geschosses eine zunehmende ist, daher dieses in gleichen Zeitabschnitten immer grössere Wege zurücklegt, so wird die Raumerweiterung und die durch sie bedingte Verminderung der Gasspannung in grösserem Verhältnisse als die Zeit zunehmen. Dies ist durch die Curve *AB* *(Fig. 47)* versinnlicht, deren Ordinaten die Spannungsverminderungen darstellen; diese Curve muss ihre convexe Seite der Abscissenaxe, auf welcher die Zeiten aufgetragen sind, zuwenden. *MA* bedeutet die Zeit von der Entzündung der Ladung bis zum Beginne der Geschoss-

* Von diesen Widerständen wird später ausführlicher gesprochen werden.

bewegung, *Map* die Spannungscurve, wie sie sich ergeben hätte, wenn das Geschoss während der Pulververbrennung nicht von der Stelle gewichen wäre. Nimmt man an, dass die Raumerweiterung infolge der Geschossbewegung auf den Verlauf der Curve *Map* keinen Einfluss hätte, so würden sich die wirklich stattfindenden Spannungen aus der Differenz der Ordinaten der beiden Curven *ap* und *AB* ergeben, daher der Verlauf der Gasspannung durch die Curve *Masp'* dargestellt sein, welche in *s* ihr Maximum hätte. Aber die Geschossbewegung beeinflusst die Gasspannung, beziehungsweise die Curve *Map,* noch in anderer Weise, als durch die blosse Raumerweiterung, u. zw. erstlich dadurch, dass das Gas bei Bewegung des Geschosses Arbeit verrichtet und dabei einen Theil seiner Temperatur und Spannung einbüsst,* zweitens dadurch, dass infolge der verminderten Temperatur und Spannung des Gases die Verbrennungsgeschwindigkeit des Pulvers vermindert, daher der Endpunkt der Verbrennungszeit weiter hinaus, nach *Q,* gerückt wird. Man kann sich vorstellen, dass durch ersteres die Curve *AB* noch mehr nach abwärts gekrümmt (*AB'*), durch letzteres aber die Curve *Map* in jene *Maq* verlängert wird; die Curve der wirklichen Spannungen nimmt den Verlauf *Mas'q'* und hat ihr Maximum in *s'*, welches kleiner als jenes *Ss* ist. Von dem Punkte *Q* an muss die Curve der wirklichen Gasspannungen *q'z'* parallel zu jener *AB'* sein. Man kann demnach in der Curve der Gasspannungen drei Theile unterscheiden: 1.) den Theil *Ma* von der Entzündung der Ladung bis zum Beginn der Geschossbewegung, — hier folgt die Curve bloss dem Gesetz, nach welchem die Pulververbrennung im unveränderlichen Explosionsraume stattfindet, der Entzündungs- und Verbrennungsgeschwindigkeit des Pulvers; 2.) den Theil *aq'* vom Beginn der Geschossbewegung

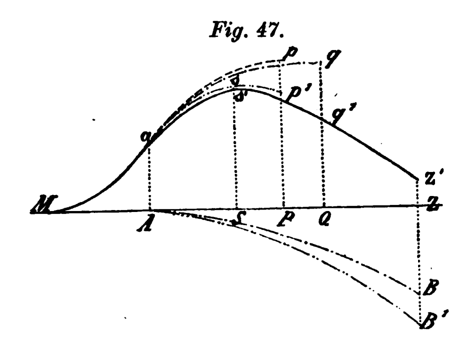
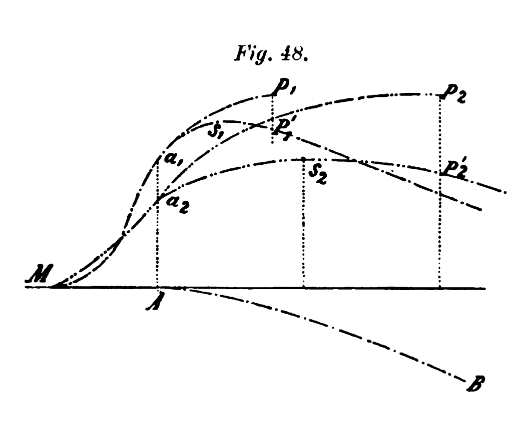


Fig. 47.

* Bekanntlich findet dieses darin seinen Ausdruck, dass die Spannungsverminderung bei Verschiebung eines Stempels von bestimmtem Drucke nicht dem einfachen Mariotte'schen, sondern dem Poisson'schen Gesetze folgt.

bis zur Beendigung der Pulververbrennung, — hier ist für den Verlauf der Curve sowol die veränderliche Verbrennungsgeschwindigkeit der Ladung als auch das Gesetz, nach welchem die Raumerweiterung stattfindet, die Geschossgeschwindigkeit, massgebend: 3.) den Theil $q'z'$ vom Momente der vollständigen Verbrennung der Ladung bis zum Austreten des Geschosses aus der Mündung, — hier folgt die Curve bloss dem Gesetz der Raumerweiterung, der Geschossgeschwindigkeit.

Fig. 48.



Von Wichtigkeit ist die Grösse der Maximalgasspannung und die Lage derselben in der Spannungscurve. Wären in *Fig. 48* Mp_1 und Mp_2 die bei Verbrennung im unveränderlichen Raume stattfindenden Spannungscurven von zwei gleichen Ladungen (z. B. aus feinkörnigem und grobkörnigem Pulver), nimmt man in beiden Fällen den Bewegungsanfang des Geschosses im Punkte (Zeitmomente) A und einen gleichmässigen, durch AB dargestellten Einfluss der Geschossbewegung auf die Spannung an, so wären $Ma_1p'_1$ und $Ma_2p'_2$ die Curven der wirklichen Spannungen: die Maxima derselben würden von p_1 und p_2 nach s_1 und s_2 zurück rücken. Wie natürlich, erleidet das Maximum bei der längeren Curve (langsam verbrennendes Pulver) eine grössere Vorrückung als bei der kürzeren Curve (schnell verbrennendes Pulver) und ist infolge dessen kleiner als bei dieser. Ebenso sieht man, dass bei schnell verbrennendem Pulver der zweite Theil der Curve sehr kurz ist, die Spannung bald nach dem Eintreten des Maximums dem blossen vermindernden Einflusse der Raumerweiterung folgt, daher sehr rasch abnimmt; bei langsam verbrennendem Pulver hingegen ist der zweite Theil der Spannungscurve lang, dem vermindernden Einflusse der Raumerweiterung wirkt die fortdauernde Gasentwicklung entgegen, die Spannung nimmt langsam ab, ist somit viel gleichmässiger. Man kann also den Unterschied zwischen schnell und langsam verbrennendem Pulver in Bezug auf den Verlauf der Gas-

spannung im Allgemeinen folgendermassen charakterisiren: Beim schnell verbrennenden Pulver ist zu Beginn der Geschossbewegung schon eine bedeutende Spannung vorhanden, die Maximalspannung ist grösser und tritt sehr bald nach dem Bewegungsanfang ein, darnach findet eine rasche Verminderung der Spannung statt, — das langsam verbrennende Pulver setzt das Geschoss mit geringerer Spannung in Bewegung, gibt eine niedrigere und später eintretende Maximalspannung und einen gleichmässigeren Verlauf der Spannungen überhaupt. Die Grenzen wären: einerseits ein so schnell verbrennendes Pulver, dass der Verbrennungsprocess zu Ende ist, bevor sich das Geschoss in Bewegung setzt, das Maximum der Gasspannung mit dem Beginn der Geschossbewegung zusammenfällt und die folgenden Spannungen ausschliesslich nach dem (durch den Rückstand modificirten) Poisson'schen Gesetze verlaufen: — anderseits ein langsam und derart verbrennendes Pulver, dass der vermindernde Einfluss der Raumerweiterung auf die Spannung stets durch die fortdauernde Gasentwicklung compensirt wird, daher die Spannung während der ganzen Geschossbewegung im Rohre unverändert bleibt.

Nachdem durch das letztere bei der geringsten brisanten Wirkung, d. h. mit der geringsten Anforderung an die Widerstandsfähigkeit und Ausdauer des Rohres, eine bestimmte balistische Wirkung erreicht werden würde,* so richten sich alle Bestrebungen der Neuzeit darauf, die Pulververbrennung diesem Principe so nahe als möglich zu bringen; die Möglichkeit der Erreichung dieses Zieles steht in Frage und wäre nur denkbar, wenn ein immer in dem Verhältnisse der Raumerweiterung rascher (beispielsweise von innen nach aussen) verbrennendes Pulver zur Anwendung käme.

Wenn eine und dieselbe Ladung in verschieden grossen Ladungsräumen zur Entzündung gelangt, so wird im unveränderlich gedachten Ladungsraume die schliessliche Spannung um so kleiner, je grösser der Raum im Verhältnisse zur Ladung, je kleiner demnach das **Ausfüllungsverhältniss** desselben oder die **Ladungsdichtigkeit** ist; infolge der überhaupt kleineren Spannungen im grösseren Raume wird auch die Verbrennungsgeschwindigkeit eine kleinere, daher die Verbrennungszeit eine grössere, die Curve *Map (Fig. 47)* eine längere sein. Es wird demnach nicht nur die durch die Geschossbewegung modificirte Maximalspannung, sowie jene, bei welcher sich das Geschoss in Bewegung setzt, eine niedrigere sein, sondern es wird auch die Curve der wirklichen Gasspannungen gleichmässiger verlaufen.

---

* Man siehe ersten Abschnitt, Allgemeines. Punkt *d.*

Recapitulirt man das Vorbesagte, so ergibt sich, dass folgende Factoren auf die Grösse und den Verlauf der Gasspannungen während der Geschossbewegung im Rohre einen wesentlichen Einfluss haben:

1.) Die **Natur** (Dosirung, Dichte, Form und hauptsächlich Grösse des Kornes etc.) **des Pulvers:** rasch verbrennendes (feinkörniges) Pulver gibt ungleichmässige Spannungen, anfangs rasch ansteigend, dann ebenso rasch abnehmend, — langsam verbrennendes (grobkörniges) Pulver aber gleichmässigere Spannungen, langsamer ansteigend und ebenso abnehmend.

2.) Die **Ladungsdichtigkeit:** grössere Ladungsdichtigkeit, ungleichmässigere Spannungen, — kleinere Ladungsdichtigkeit, gleichmässigere Spannungen.

3.) Die **Construction des Geschosses und der Bohrung,** von welcher die Art und Weise der Geschossbewegung, d. h. die Zeit, die das Geschoss zur Inbewegungsetzung erfordert, die Natur und Grösse der Bewegungshindernisse und der sonstigen Arbeit, die der Gasdruck ausser der Bewegung des Geschosses zu leisten hat, etc., abhängt. Hauptsächlich sind hier die Vorgänge von Bedeutung, welche die anfängliche Geschossbewegung, solange die Pulververbrennung andauert, begleiten: setzt sich das Geschoss, ohne starke Hindernisse zu finden, leicht in Bewegung, so wird die rasche Raumerweiterung einen gleichmässigeren Verlauf der Gasspannungen bewirken; häufen sich hingegen die Hindernisse, welche die anfängliche Geschossbewegung verzögern, so wird ein rascheres Anwachsen der Spannung, daher ein ungleichmässigerer Verlauf der Spannungen die Folge sein. Treten in der weiteren Bewegung des Geschosses Momente ein, wo dasselbe eine augenblickliche grössere Hemmung erleidet (wie z. B. ein Spielraumgeschoss beim Anschlagen an die Bohrungswände), so wird der normale Verlauf der Gasspannungen Störungen erleiden; fallen solche Momente in die Periode der fortdauernden Pulververbrennung, so werden sie momentan ein Anwachsen der Spannung, daher partielle Spannungsmaxima zur Folge haben.

Einen obwol geringeren Einfluss als die vorerwähnten Factoren hat die Entzündungsstelle der Ladung, nachdem die Zeit der Entzündung am kleinsten ist, wenn die Ladung in der Mitte entzündet wird und bei Verlegung der Entzündungsstelle gegen die Enden der Karduse zunimmt.

Der Spielraum des Geschosses beeinflusst zwar, wenn er beträchtlich ist, nicht unbedeutend die Grösse der Spannungen, aber nur im geringen Grade den Verlauf, d. h. das Verhältniss derselben zu einander; dies geschieht nur inso-

weit, als die durch den Spielraum verursachte Verminderung der Spannungen überhaupt die Verbrennungsgeschwindigkeit modificirt. Dasselbe ist mit der Abgabe der Wärme an die Bohrungswände der Fall. —

Im Vorhergehenden wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass die dem Explosionsraume und so jedem anderen durch die Geschossbewegung erweiterten Raume entsprechende Gasspannung in allen Punkten dieses Raumes gleichmässig stattfindet; dies ist jedoch nicht der Fall. Das an irgend einer Stelle aus dem brennenden Pulver sich entwickelnde Gas hat im Verbrennungsmomente eine sehr hohe Spannung, welche sich in dem Masse vermindert, als sich das Gas in dem Explosionsraume verbreitet und mit dem übrigen schon vorhandenem Gase mischt; es wird daher während des Verbrennungsprocesses an den Stellen, wo sich die verbrennenden Pulverkörner befinden, stets eine grössere Gasspannung sein, als an anderen Stellen des Explosionsraumes, wo die Spannung um so kleiner sein wird, je weiter die betreffende Stelle von dem verbrennenden Pulverkorne entfernt ist. Denkt man sich die Karduse an der rückwärtigen Fläche entzündet (wie bei der Centralzündung), so muss das locale Maximum der Gasspannung anfänglich ganz rückwärts, am Stossboden, sein; würde die Ladung nur lagenweise von rück- gegen vorwärts abbrennen, so würde das locale Spannungsmaximum mit der Verbrennungsstelle immer weiter gegen den Geschossboden zu vorrücken und sich am Ende des Verbrennungsprocesses am Geschossboden befinden, am Stossboden wäre in diesem Momente die kleinste Gasspannung. Aber auch bei nicht lagenweiser Verbrennung der Ladung wird im Falle der Entzündung der Karduse an der rückwärtigen Fläche etwas Aehnliches stattfinden, nachdem das anfangs entwickelte Gas den unverbrannten Theil der Ladung am Geschossboden zusammendrängen wird; nur wird dies nicht ein genau regelmässiges, querschnittweises Fortschreiten des localen Spannungsmaximums, sondern ein solches nach der Oberfläche der zusammengedrängten Pulvermasse sein. Die Ausgleichung der Gasspannung im ganzen Explosionsraume tritt erst nach der vollständigen Verbrennung der Ladung ein, vorausgesetzt jedoch, dass indessen der Raum nicht erweitert wird. Nachdem die localen Spannungsmaxima um so grösser werden, je weiter die Verbrennung fortschreitet, je grösser daher die ausgeglichene, durchschnittliche Spannung wäre, so wird während des ganzen Verbrennungsprocesses die kleinste Spannung an der Entzündungsstelle, bei Centralzündung am Stossboden, sein.

Diese ungleichmässige Vertheilung der Gasspannung im Explosionsraume hat zur Folge, dass das Rohr an der Stelle des localen Spannungsmaximums momentan einen grösseren, für seine Ausdauer nachtheiligen Druck erleidet. Man trachtet demnach eine raschere Ausgleichung der Gasspannung zu bewirken. Hiezu wird bei Anwendung des gewöhnlichen, nicht kanalirten Pulvers die Entzündungsstelle (Ausmündung des Zündloches, Oberzündung) etwas nach vorwärts verlegt, wodurch nach dem Durchbrennen des Querschnittes an der Entzündungsstelle die Ladung in zwei Theile, einen am Stossboden und einen am Geschossboden, zerlegt wird, daher sich die von den beiden Verbrennungsherden ausgehenden Gasströmungen rascher treffen;* dies hat noch den Vortheil, dass das unverbrannte Pulverquantum, welches am Geschosse zusammengedrängt wird und nach Beginn der Bewegung mit diesem nach vorwärts verschoben werden muss, ein kleineres wird. Ein zu weites Vorverlegen der Entzündungsstelle, beispielsweise an das vordere Ende der Karduse, wäre bezüglich der ungleichmässigen Spannungen ebenso nachtheilig, wie die Entzündung rückwärts, während sich das Entfallen der Verschiebung des unverbrannten Pulvers mit dem Geschosse dadurch compensiren würde, dass nunmehr das Geschoss schwächere Impulse erhielte. Ein rationelleres Mittel zur Erzielung gleichmässiger Spannungen im Explosionsraume, als die Verlegung der Entzündungsstelle nach vorwärts, besteht in der Anwendung des kanalirten Pulvers, für welches die Centralzündung die geeignetste Zündweise ist; hiebei wird die Entzündung durch die Kanalsäulen, zu welchen sich die Kanäle der regelmässig geschlichteten Körner zusammensetzen, rasch in der ganzen Ladung fortgepflanzt, wodurch die in der Ladung gleichmässiger auftretende Verbrennung ebenfalls eine gleichmässigere Vertheilung der noch unverbrannten Pulvermenge erhält.

Sobald sich das Geschoss in Bewegung gesetzt hat, tritt eine Ausgleichung der Spannungen überhaupt nicht mehr ein. Nimmt man vor Beginn der Geschossbewegung die Ladung gänzlich verbrannt und die Spannungen im Explosionsraume ausgeglichen an, denkt man sich sodann das Geschoss momentan um ein kleines Stück nach vorne gerückt, so müsste im ersten Zeitmomente hinter demselben ein leerer Raum entstehen, in welchen das Gas aus dem Explosionsraume einströmt; das Einströmen geschieht von der vorderen Fläche des Gasquantums aus, wo infolge dessen eine Verminderung des Druckes entsteht und eine Bewegung der nächsten und so aller folgenden Schichten nach vorwärts zur Ausgleichung des gestörten Spannungsgleichgewichtes verursacht, wodurch sich die Druckverminderung in abnehmender Stärke bis an das rückwärtige Ende des Gasquantums fortpflanzt. Anderseits staut sich das mit

* Die Entzündungsstelle der Ladung, für den Verlauf der ausgeglichen gedachten Gasspannungen von geringerer Bedeutung, ist daher für die localen Verschiedenheiten der Spannung von wesentlichem Einflusse.

grosser Geschwindigkeit nach vorwärts strömende Gas an dem Geschossboden und es entsteht hier eine Gasanhäufung, welche eine Steigerung des Druckes über das Normale der ausgeglichen gedachten Spannung zur Folge hat. Nachdem das Geschoss nicht sprungweise, sondern continuirlich vorrückt, so kann man sich die dadurch hervorgerufenen Fluctuationen des Gases als continuirliche Strömungen von Druckverminderungen, von vor- gegen rückwärts und gleichzeitige Strömungen von Druckerhöhungen von rück- gegen vorwärts vorstellen; diese Strömungen erzeugen mehrfache locale Maxima und Minima der Gasspannung, welche sowol in ihrer Grösse als in der Position ihres Auftretens variiren.* — Befindet sich hinter dem Geschosse noch brennendes Pulver, so wird das aus demselben sich entwickelnde Gas, welches in den Explosionsraum abströmt, die vorbeschriebenen regelmässigen Fluctuationen des Gases stören und die localen Maxima und Minima modificiren.

Von den vorbesprochenen localen Verschiedenheiten der Gasspannung soll im Folgenden, bei Betrachtung der Geschossbewegung, abgesehen und die Gasspannung in dem Raume hinter dem Geschosse als ausgeglichen angenommen werden.

II. Bewegung des Geschosses. Geschossgeschwindigkeit.

Das in seiner Spannung als ausgeglichen vorausgesetzte Pulvergas übt einen gleich starken Druck auf die Flächeneinheit aller Umschliessungswände aus. Der Druck auf die Seitenwände bewirkt eine momentane Ausdehnung derselben,** — der Druck nach rückwärts, auf den Stossboden, verursacht hauptsächlich die Bewegung des Geschützes, den Rücklauf,*** — der Druck nach vorwärts, gegen den Geschossboden, ertheilt dem Geschoss die fortschreitende und rotatorische Bewegung und bewirkt die Ausdehnung des Gases, beziehungsweise die Bewegung des hinter dem Geschoss vorhandenen noch

* Erleidet das Geschoss an irgend einer Stelle seines Weges eine grössere Hemmung (Spielraumgeschosse beim Anschlagen an die Bohrungswände), so wird sich hinter demselben eine grössere Gasanhäufung bilden, daher ein locales Spannungsmaximum entwickeln, welches sich von der Reihe der continuirlich verlaufenden localen Maxima abheben und in der momentan grösseren Beschleunigung der Geschossbewegung bemerkbar machen wird.

** Die Wirkungen dieses Druckes, als Beanspruchungen der Elasticität und Festigkeit des Rohrmaterials, wurden im dritten Abschnitt in Betracht gezogen.

*** Von den Wirkungen dieses Druckes wird weiterhin die Rede sein.

unverbrannten Pulvers mit dem Geschoss nach vorwärts.* Das letztere, nämlich die Verschiebung der Ladung, sei es im vollständig verbrannten oder noch theilweise im unverbrannten Zustande, absorbirt einen Theil des nach vorwärts gerichteten Druckes, so dass dieser nicht gänzlich auf die Ertheilung der Geschossbewegung aufgewendet wird. Aber auch von dem wirklich auf das Geschoss entfallenden Drucke geht ein Theil für die Ertheilung der fortschreitenden Geschossbewegung verloren, nachdem dieser Druck zugleich die Bewegungshindernisse überwinden und dem Geschosse die Rotation ertheilen muss; die wichtigsten Bewegungshindernisse sind: das Einschneiden der Felder in das Führungsmittel, falls dieses im Princip der Geschossführung liegt, und die Reibung des Geschosses an den Bohrungswänden. Der Einfluss dieser die fortschreitende Geschossgeschwindigkeit beeinträchtigenden Factoren ergibt sich folgendermassen:

1.) **Bewegung der Ladung.** Ist die Ladung vollständig verbrannt und nimmt man sowol das Gas als den Rückstand stets gleichmässig vertheilt in dem Raume hinter dem Geschosse, daher den Schwerpunkt der Ladung stets in der Mittte dieses Raumes an, so wird dieser Schwerpunkt in einer bestimmten Zeit die Hälfte des Weges zurückgelegt haben, welchen das Geschoss in seiner fortschreitenden Bewegung gemacht hat, die Geschwindigkeit der Bewegung der Ladung ist also gleich der halben Geschwindigkeit der fortschreitenden Geschossbewegung;** dasselbe wird auch der Fall sein, wenn das etwa noch vorhandene unverbrannte Pulver in dem Explosionsraume gleichmässig vertheilt ist. Befindet sich hingegen unmittelbar hinter dem Geschoss eine Quantität unverbrannten Pulvers, welches sich mit derselben Geschwindigkeit wie das Geschoss bewegt, so wird die Geschwindigkeit des Ladungsschwerpunktes grösser sein, als im ersten Falle; die Differenz wird grösstentheils eine so wenig beträchtliche sein, dass die Annahme der halben Geschossgeschwindigkeit

* Allerdings wird das Gas auch nach rückwärts zu, durch den gegen den Stossboden gerichteten Druck, ausgedehnt, jedoch ist diese Ausdehnung sowie der während der Geschossbewegung im Rohre vom Stossboden zurückgelegte Weg sehr gering, kann daher hier ausser Betracht bleiben und der Stossboden als unbeweglich angenommen werden.

** Die Theile des Pulvergases am Stossboden sind in Ruhe, jene am Geschossboden haben die Geschwindigkeit v des Geschosses, demnach ist die mittlere Geschwindigkeit des Gases $\frac{0+v}{2} = \frac{v}{2}$.

für die Ladung im Allgemeinen statthaft erscheint.* Bedeutet p die Gasspannung in Atmosphären, $P = 1 \cdot 03 r^2 \pi p$ den Druck des Pulvergases in der Richtung gegen den Geschossboden (den Durchmesser des Ladungsraumes jenem des Geschossbodens gleich angenommen, r in $^c/_m$, P in $^k/_g$ ausgedrückt), P_2 den Theil dieses Druckes, welcher die Ladung bewegt, P_1 den auf das Geschoss selbst wirkenden Druck, aP_1 die Kraft, welche dem Geschosse die fortschreitende Geschwindigkeit ertheilt ($[1 - a]P_1$ wäre dann der auf die Rotation und die Bewegungswiderstände verloren gehende Druck), m die Masse des Geschosses, m' die Masse der Ladung, v die fortschreitende Geschwindigkeit, x den zurückgelegten Weg des Geschosses, — so ist zunächst $P_1 + P_2 = P$, ferner für die Geschossbewegung $aP_1 dx = mv \cdot dv$, für die Bewegung der Ladung $P_2 \cdot \frac{1}{2} dx = m' \frac{1}{2} v \cdot \frac{1}{2} dv$ oder $P_2 dx = \frac{m'}{2} \cdot vdv$; d. h. die Kraft, welche auf die Ausdehnung der Ladung aufgewendet wird, ist gleich derjenigen, welche die halbe Masse der Ladung mit einer der fortschreitenden Geschossgeschwindigkeit gleichkommenden Geschwindigkeit bewegen würde.

2.) **Einschneiden der Felder in das Führungsmittel.** Denkt man sich das Geschoss mit einem Mantel (Ring) bekleidet, dessen Durchmesser überall gleich ist dem Durchmesser der Bohrung zwischen den Zügen, so wird man sich den Vorgang beim Einschneiden jedes Feldes einerseits als ein Abscheren des Materials an den Rändern des Feldes und Durchpressen des abgelösten Stückes, welches mit einer fortschreitenden Verdichtung desselben verbunden ist, andererseits als ein theilweises Zurseitedrängen des Materials und Verdichten der stehenbleibenden Leisten vorstellen können.** Betrachtet man das Abscheren und Durchpressen als die Hauptarbeit (was bei Parallelzügen statthaft ist), so kann man die dazu erforderliche Kraft der Querschnittsfläche des Feldes und, im Hinblick auf die das Durchpressen begleitende Verdichtung der ausgestossenen Leiste, der Länge des in das Material eingedrungenen Feldes proportional annehmen. Bedeutet C die Breite, h die Höhe des Feldes (Zugtiefe) bei rechteckförmigen Zügen, n die Zahl der Felder (Züge), e einen von der

---

* Dieser Annahme wird um so besser entsprochen, je schneller die Ladung verbrennt und die Ausgleichung der localen Spannungsverschiedenheiten stattfindet.

** Das Abscheren und Durchpressen wird bei der Länge nach gleich breiten Feldern (Parallelzügen), das Verdichten der Leisten bei Feldern von zunehmender Breite (Keilzügen) vorherrschen.

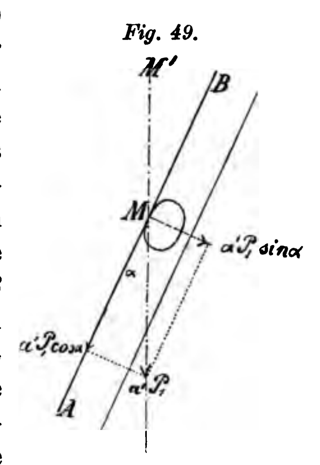
Natur und Festigkeit des Führungsmaterials abhängigen Coëfficienten, α den Drallwinkel, x den vom Geschosse in der Zeit t nach dem Beginn des Einschneidens zurückgelegten Weg in der Richtung der Rohraxe, daher $\frac{x}{\cos\alpha}$ die Länge des in das Material eingedrungenen Feldes, so ist die auf das Einschneiden der Felder aufgewendete Kraft $P_3 = nbh \frac{x}{\cos\alpha} \cdot e$ und die Elementararbeit derselben $P_3 dx = nbhe \frac{xdx}{\cos\alpha}$: bei der Integration sind als Grenzen $x = 0$ und $x = \lambda$, die Länge des mit dem Mantel bekleideten Geschosstheiles, zu nehmen. P_3 ist der durch das Einschneiden der Felder verursachte Verlust an forttreibender Kraft, folglich beträgt diese letztere während des Einschneidens $P_1 - P_3 = a' P_1$; der Quotient $a' = \frac{P_1 - P_3}{P_1}$ ist daher während des Einschneidens < 1 und wird nach beendigtem Einschneiden $= 1$.

Ist der Mantel durch mehrere vertiefte Theile (Rillen) unterbrochen, so müsste der Widerstand und die Arbeit desselben für jede Wulst besonders gerechnet werden. — Bei Keilzügen ist die Feldbreite b selbst nach der ganzen Länge des Fluges veränderlich, daher $b = b' \frac{x}{\cos\alpha}$ zu setzen; solange der Anfang der Felder den Mantel noch nicht durchschritten hat, wäre $P_3 dx = nb'he \frac{x^2dx}{\cos\alpha}$ und die Integration zwischen $x = 0$ und $x = \lambda$ auszuführen, von da an bis zur Mündung ist $P_3 dx = nb'h\lambda e \frac{xdx}{\cos^2\alpha}$ und bei der Integration $x = \lambda$ und $x = L' - \lambda$ zu setzen, wo L' die Länge des Fluges bedeutet. — Bei Zügen mit Progressivdrall geschieht während der ganzen Geschossbewegung ein fortwährendes Verschieben der hergestellten Führungsleisten, welchem Umstande, soweit er während des Einschneidens in Frage kommt, die obige Formel dadurch Rechnung trägt, dass P_3 von dem veränderlichen Winkel α abhängig ist.

3.) **Reibung des Geschosses, Einfluss der Windung der Züge.** Die durch das Geschossgewicht verursachte Reibung des Geschosses an der unteren Bohrungswand ist sehr gering und kann hier ausser Betracht bleiben; ebenso kann angenommen werden, dass bei Geschossen ohne Spielraum, nachdem das Einschneiden der Felder vor sich gegangen, zwischen Geschoss und Bohrung bloss Adhäsion (ohne Pressung) stattfindet, deren Ueberwindung keinen besonderen Kraftaufwand erfordert. Von einiger Bedeutung ist nur die Reibung der Führungsleisten (Warzen) an den Führungsflächen der Züge, welche mit der durch die Windung der Züge bedingten Aenderung der Bewegungsrichtung und dem sie begleitenden Kraftverlust im Zusammenhange steht. Dieser Kraftverlust ist von dem auf das

Geschoss wirkenden Drucke und vom Drallwinkel abhängig; die Zahl der Züge hat auf denselben keinen Einfluss und verursacht nur die Vertheilung des vom Geschosse auf die Zugfläche ausgeübten Druckes auf mehrere Stellen am Bohrungsumfange; man kann daher, zur Ermittlung des Kraftverlustes, den Druck auf das Geschoss an einer Leiste (Warze) vereinigt denken. Ist in *Fig. 49* M der Anlehnungspunkt einer Führungswarze an die Führungsfläche AB des Zuges, MM' die zur Rohraxe parallele Richtung des Druckes $a'P_1$ auf den Geschossboden, α der Drallwinkel, so zerlegt sich die Kraft $a'P_1$ durch den Widerstand der Führungsfläche, welche die Geschossbewegung in die Richtung AB zwingt, in die Componenten $a'P_1 \cos\alpha$ und $a'P_1 \sin\alpha$, die erstere bewirkt die Geschossbewegung in der Richtung AB, die letztere die Reibung der Warze an der Führungsfläche,* welche durch die Componente $a'P_1 \cos\alpha$ überwunden werden muss; es resultirt also als bewegende Kraft in der Richtung AB: $a'P_1(\cos\alpha - f\sin\alpha)$, als Verlust an forttreibender Kraft infolge der Aenderung der Bewegungsrichtung $a'P_1(1 - \cos\alpha + f\sin\alpha)$.

Fig. 49.



4.) **Geschossrotation.** Die Geschwindigkeit u, welche die Kraft $a'P_1(\cos\alpha - f\sin\alpha)$ dem Geschosse in der Richtung des Zuges ertheilt, zerfällt in die fortschreitende Geschwindigkeit $v = u\cos\alpha$ und in die Drehgeschwindigkeit eines Punktes am Geschossumfange $c = u\sin\alpha$. Bezeichnet dx den Weg, welchen das Geschoss in der Zeit dt in der fortschreitenden Bewegung macht, so ist $\frac{dx}{\cos\alpha}$ der in derselben Zeit in der Richtung des Zuges zurückgelegte Weg; es besteht daher für die letztere Bewegung die Gleichung

$$a'P_1(\cos\alpha - f\sin\alpha)\frac{dx}{\cos\alpha} = mudu$$

---

* Dies ist nur für den Fall streng richtig, wenn die Führungsfläche im Querschnitte mit dem Bohrungsradius zusammenfällt, in jedem anderen Falle bewirkt nur ein Theil der Componente $P_1 \sin\alpha$ die Reibung, der Rest aber die Centrirung des Geschosses (siehe dritter Abschnitt); bei rechteckförmigen Zügen von kleiner Breite ist die Differenz sehr gering.

und wenn $u = \frac{v}{\cos\alpha}$ eingesetzt wird, $a'P_1(\cos\alpha - f\sin\alpha)dx = \frac{m}{\cos\alpha}vdv$, woraus $a'P_1(\cos^2\alpha - f\sin\alpha\cdot\cos\alpha)dx = mvdv$ oder wenn $\cos^2\alpha - f\sin\alpha\cos\alpha = a''$ gesetzt wird, $a'a''Pdx = mvdv$ folgt.

Der Werth a'' ist bei Geschützen mit constantem Drall constant, bei Geschützen mit Progressivdrall aber variabel, von x abhängig.

Für parabolischen Drall ist die Gleichung der Drallcurve, nachdem die Richtung der Bewegung (Rohraxe oder hier die zu ihr parallele Erzeugende des Bohrungscylinders) als X-Axe gilt, $x^2 = \frac{2}{\gamma}y$, daher $tg\alpha = \frac{dy}{dx} = \gamma x$; hieraus ergibt sich $\cos^2\alpha = \frac{1}{1+\gamma^2x^2}$, $\sin\alpha\cdot\cos\alpha = \frac{\gamma x}{1+\gamma^2x^2}$, daher $a'' = \frac{1-f\gamma x}{1+\gamma^2x^2}$.

Fasst man alle Factoren zusammen, so ist wegen der Identität der Gleichung $aP_1dx = mvdv$ mit jener $a'a''P_1dx = mvdv$ allgemein $a = a'a''$; die Grösse a wird demnach je nach der Rohr- und Geschossconstruction einen verschiedenen Charakter haben, da dies mit den beiden Factoren a' und a'' der Fall ist: a' ist bei Geschützen mit Pressionsführung und Keilzügen während der ganzen Geschossbewegung variabel, bei Geschützen mit Pressionsführung und Parallelzügen nur im Anfange variabel, nach dem Einschneiden der Felder $= 1$, bei Geschützen ohne Pressionsführung aber durchaus $= 1$; a'' ist bei Geschützen mit Progressivdrall variabel, bei Geschützen mit constantem Drall constant. Die beiden extremen Fälle sind also: Geschütze mit Pressionsführung, Keilzügen und Progressivdrall, — Geschütze ohne Pressionsführung und mit constantem Drall; im ersten Falle sind beide Factoren während der ganzen Geschossbewegung variabel, im zweiten Falle aber constant.

Nachdem der erste Fall der allgemeinste ist, so soll zunächst für denselben die Bewegungsgleichung aufgestellt werden. Aus $a'a''P_1dx = mvdv$ folgt, wenn $a' = \frac{P_1 - P_3}{P_1}$ eingesetzt wird,

$a''(P_1 - P_3)dx = mvdv$, ferner ist für die Bewegung der Ladung $2P_2dx = m'vdv$; durch Verbindung der beiden Gleichungen ergibt sich $a''m'(P_1 - P_3) = 2mP_2$ und da $P_2 = P - P_1$ ist, $a''m'(P_1 - P_3) =$ $= 2mP - 2mP_1$, hieraus folgt ferner

$$P_1 = \frac{2mP + a''m'P_3}{2m + a''m'},\quad P_1 - P_3 = \frac{2m}{2m + a''m'}(P - P_3),$$

daher die Bewegungsgleichung

$$\frac{2a''}{2m + a''m'}(P - P_3)dx = vdv.$$

Um dieselbe zu integriren, müssten sowol die oben abgeleiteten, von x abhängigen Werthe für P_3 und a'', als auch die, die Abhängigkeit der Gasspannung vom Wege x ausdrückende Function $P=f(x)$ eingesetzt werden.

Für den zweiten, die einfachsten Verhältnisse charakterisirenden Fall ist $a'=1$, $P_3=O$, a'' constant, daher die Bewegungsgleichung

$$\frac{2a''}{2m+a''m'}Pdx = vdv \text{ oder } Pdx = \left(\frac{m}{a''}+\frac{m'}{2}\right)vdv.$$

Die Grösse P_3 beeinflusst zwar wegen der durch dieselbe bedingten Verzögerung der Geschossbewegung den Verlauf der Gasspannung P, insbesondere wenn das Einschneiden der Felder im Anfange der Bewegung vollständig erfolgt (Parallelzüge); sie ist aber als Kraftverlust, d. h. in ihrem Einflusse auf die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses, nicht sehr bedeutend und kann in der Bewegungsgleichung unberücksichtigt bleiben, besonders bei grosskalibrigen Geschützen mit grosser Zahl der Züge von kleiner Breite und Tiefe, wenn der Gasdruck P ein sehr beträchtlicher ist. Dasselbe gilt auch von a'', welches bei kleinen Drallwinkeln nicht viel von 1 verschieden ist.* Es bleibt daher im Wesentlichem nur die Bewegung der Ladung, welche nicht unberücksichtigt gelassen werden kann, besonders bei Kanonen, wo das Verhältniss des Ladungs- zum Geschossgewichte — der Ladungsquotient — sehr bedeutend (bei Panzergeschützen $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$) ist. Man kann demnach als annähernd richtige Bewegungsgleichung $Pdx = \left(m+\frac{m'}{2}\right)vdv$ annehmen. Aus derselben ergibt sich die Geschwindigkeit v am Ende der Weglänge l mit $\int_0^l Pdx = \frac{1}{2}\left(m+\frac{m'}{2}\right)v^2$ und die Anfangsgeschwindigkeit V, wenn die ganze Länge der Geschossbewegung mit L bezeichnet wird, mit $\int_0^L Pdx = \frac{1}{2}\left(m+\frac{m'}{2}\right)V^2$.

Um die Integration ausführen zu können, muss P in seiner Abhängigkeit von x, $P=f(x)$ eingesetzt werden.

Zur Berechnung der Zeit der Bewegung hat man aus $P=\left(m+\frac{m'}{2}\right)\frac{dv}{dt}$, $\int_0^t Pdt = \left(m+\frac{m'}{2}\right)v$, wo t die Zeit vom Anfange

---

* Für $\alpha = 4^0$, $f = 0\cdot14$ ist $\cos^2\alpha = 0\cdot9952$, $f \sin\alpha\cdot\cos\alpha = 0\cdot0098$, daher $a'' = 0\cdot9854$.

der Bewegung bis zur Erreichung der Geschwindigkeit v bedeutet, für die Zeit T der ganzen Bewegung ist $\int_0^T P dt = \left(m + \frac{m'}{2}\right) V$; in diesen Formeln muss behufs Integration P als $\varphi(t)$ eingesetzt werden.

Um die Zeit t in ihrer Abhängigkeit von der Weglänge auf Basis von $P = f(x)$ darzustellen, müsste die allgemeine Gleichung

$$\int_0^x P dx = \tfrac{1}{2}\left(m + \frac{m'}{2}\right) v^2$$

zur Grundlage genommen und $v = \frac{dx}{dt}$ eingeführt werden, wodurch sich, wenn $\int_0^x P dx = F(x)$ gesetzt wird, $dt = dx \sqrt{\frac{m + \frac{m'}{2}}{2F(x)}}$ und $t = \int_0^l dx \sqrt{\frac{m + \frac{m'}{2}}{2F(x)}}$ ergibt.

Um die Anwendung dieser Formeln zu zeigen, soll nachfolgendes Beispiel durchgeführt werden: In einem 15 cm Geschützrohre ($r = 7 \cdot 5$ cm), welches ein Geschoss vom Gewichte 35·2 kg mit der Ladung von 8 kg schiesst (Gewicht von Geschoss und halber Ladung 39·2 kg, Masse $m + \frac{m'}{2} = 4$), verlaufe die Gasspannung während des Geschossweges von $L = 2 \cdot 8$ m Länge nach der Formel $p = p_0 \left(\frac{l_0}{l_0 + x}\right)^{3/4}$, worin l_0 die Länge des Ladungsraumes $= 0 \cdot 6$ m, p_0 die Gasspannung in demselben $= 2130$ Atm. bedeutet; der Druck des Pulvergases in der Richtung des Geschossbodens ist $P = 1 \cdot 03 r^2 \pi p = 180 p$ kg, daher der anfängliche Druck $P_0 = 180 p_0 = 383400$ kg. Die Integration der obigen Gleichung gibt allgemein $4 P_0 l_0^{3/4} (\sqrt[4]{l_0 + x} - \sqrt[4]{l_0}) = \frac{1}{2}\left(m + \frac{m'}{2}\right) v^2$, und für $x = l$

$$4 P_0 l_0^{3/4} (\sqrt[4]{l_0 + l} - \sqrt[4]{l_0}) = \tfrac{1}{2}\left(m + \frac{m'}{2}\right) v^2$$

Man findet für

	$l =$	0	0·05	0·10	0·15	0·2	0·3	0·4	0·6	0·8	1·0	1·2	1·6	2·0	2·4	2·8 m.
die Gasspannung	$p =$	2130	2006	1897	1802	1716	1572	1452	1267	1128	1021	934	804	709	637	580 Atm.
die Geschwindigkeit	$v =$	0	96	134	162	185	222	250	295	330	358	381	420	451	477	500 m.

Um die Zeit zu bestimmen, ist allgemein $\int_0^x P dx = 4 P_0 l_0^{3/4} [\sqrt[4]{l_0 + x} - \sqrt[4]{l_0}]$,

daher $dt = \sqrt{\frac{m + \frac{m'}{2}}{8 P_0 l_0^{3/4}}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{\sqrt[4]{l_0 + x} - \sqrt[4]{l_0}}}$ und $t = \sqrt{\frac{m + \frac{m'}{2}}{8 P_0 l_0^{3/4}}} \int_0^l \frac{dx}{\sqrt{\sqrt[4]{l_0 + x} - \sqrt[4]{l_0}}}$

Behufs Integration setze man $\sqrt{\sqrt[4]{l_0 + x} - \sqrt[4]{l_0}} = z$, so ist $\sqrt[4]{l_0 + x} = z^2 + l_0^{1/4}$,

$l_0 + x = (z^2 + l_0^{1/4})^4$, $dx = 8z(z^2 + l_0^{1/4})^3 dz$, daher $\int \frac{dx}{\sqrt{\sqrt[4]{l_0 + x} - l_0^{1/4}}} =$

$= 8\int (z^2 + l_0^{1/4})^3 dz = 8\left[\frac{1}{7} z^7 + \frac{3}{5} l_0^{1/4} z^5 + l_0^{1/2} z^3 + l_0^{3/4} z\right]$; für $x = l$ ist $z =$

$= \sqrt{\sqrt[4]{l_0 + l} - l_0^{1/4}}$, für $x = 0$, $z = 0$.

Die ganze Zeit der Bewegung ergibt sich, wenn $x = L = 2 \cdot 8$ eingesetzt wird, mit 0·009107 Secunden. Das Geschoss braucht somit 0·0091 Secunden, um das Rohr zu durchlaufen, und erlangt dabei eine Geschwindigkeit von 500 $^m/$; die Gasspannung hat im Anfange der Bewegung ihr Maximum = 2130 Atm., nimmt während der Bewegung continuirlich ab und beträgt an der Mündung noch 580 Atm.

Um in concreten Fällen die Geschwindigkeiten und die Dauerzeiten der Geschossbewegung durch Rechnung zu finden, werden die oben aufgestellten Formeln kaum von Nutzen sein können, weil hiezu der in $P = f(x)$ ausgedrückte Verlauf der Gasspannung genau festgestellt werden müsste. Hiezu könnten, nachdem sich die Verbrennungsweise der Pulverladung nicht mit Verlässlichkeit ermitteln lässt, nur directe Gasspannungsmessungen in verschiedenen, nicht zu weit von einander entfernten Punkten der Bohrung führen. Aber abgesehen von der nicht vollständigen Verlässlichkeit der bisher zur Anwendung gekommenen Gasspannungsmesser,* geben dieselben auch nicht die hier vorausgesetzten ausgeglichenen (durchschnittlichen) Spannungen, sondern die zufälligen localen Spannungsmaxima, welche auf sie eingewirkt haben. Ferner ist zu berücksichtigen, dass auf alle innerhalb des Geschossweges bis zum Eintreten des absoluten Spannungsmaximums eingesetzten Spannungsmesser eine und dieselbe grösste Spannung (eben das absolute Spannungsmaximum) wirkt, dass daher die von ihnen angezeigten Spannungen nicht identisch sind mit jenen, welche in den bezüglichen Punkten auf das Geschoss gswirkt haben.

Rationeller erscheint es daher, nicht $P = f(x)$, sondern $x = \psi(t)$, die Abhängigkeit der Weglänge von der Dauerzeit der Bewegung, zum Ausgangspunkte zu nehmen und Zeitmessungen auszuführen, welche die Daten zur Feststellung dieser Function ergeben. Aus $x = \psi(t)$ folgt $dx = d\psi(t) = \psi'(t)dt$, daher die Geschwindigkeit am Ende des Geschossweges x

$$v = \frac{dx}{dt} = \psi'(t);$$

* Die Beschreibung derselben siehe im ersten Abschnitt.

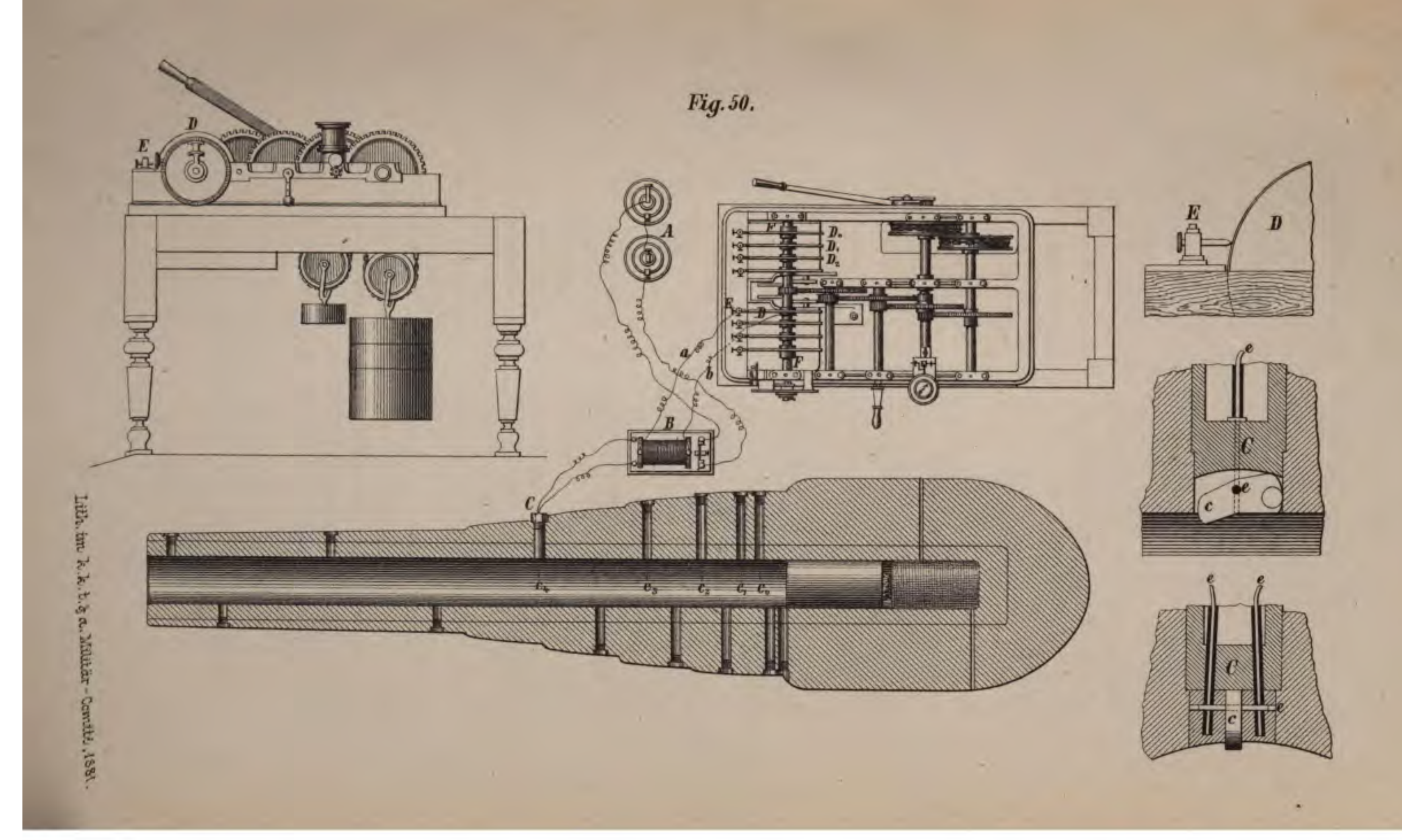
ferner ist $dv = d\psi'(t) = \psi''(t)dt$ und der Gasdruck P, wenn zur Abkürzung $m + \frac{m'}{2} = m_1$ gesetzt wird,

$$P = m_1 \frac{dv}{dt} = m_1 \psi''(t).$$

Zur Feststellung von $x = \psi(t)$ werden die Zeiten $t_1\, t_2\, t_3 \ldots$ gemessen, welche das Geschoss braucht, um die successiven Bewegungsabschnitte $C_0 - C_1$, $C_1 - C_2$, $C_2 - C_3 \ldots$ *(Fig. 50)* von der Länge $l_1\, l_2\, l_3 \ldots$ zurückzulegen. Als Repräsentant der Apparate, welche zu diesen Zeitmessungen verwendet werden, soll das Chronoskop von Noble hier kurz beschrieben werden. Dieser Apparat hat folgende Einrichtung: Der Leitungsdraht des elektrischen Stromes einer Batterie *A (Fig. 50)*, mit welchem die innere Spule eines Inductionsapparates *B* in Verbindung steht, ist in den, radial in das Geschützrohr eingesetzten Kolben *C* bis zur Bohrungsfläche geführt; von den Enden der äusseren Spule des Inductionsapparates geht ein Leitungsdraht *a* zur rotirenden Metallscheibe *D*, welche am Umfange mit einem Papierstreifen überzogen ist, während der zweite Leitungsdraht *b* mit einem Entlader *E* verbunden ist, welcher dem Papierstreifen der betreffenden Scheibe so nahe steht, dass er ihn eben nicht berührt. Wenn der inducirende elektrische Strom unterbrochen wird, so tritt der inducirte Oeffnungsstrom auf und es überspringt an der Unterbrechungsstelle der Leitung desselben vom Entlader zur Scheibe der elektrische Funke, wodurch in dem Papierstreifen der Scheibe *D* eine Marke erzeugt wird. Der Papierstreifen ist mit Lampenruss geschwärzt, um das von dem Funken erzeugte kleine Loch leichter auffinden zu können, da sich dasselbe als weisser Punkt kennzeichnet. Zum Unterbrechen des inducirenden Stromes dient ein Messer *c*, welches am inneren Ende des Kolbens *C* charnierartig eingesetzt ist und in die Bohrung etwas hervorsteht; der durch den Kolben geführte Leitungsdraht *e* ist durch ein entsprechendes Loch im Messer gezogen, und wenn das Geschoss bei seiner Bewegung im Rohre die Stelle erreicht, wo der Kolben *C* eingeschraubt ist, so drückt es das Messer gegen einwärts, wodurch der Leitungsdraht zerschnitten wird.

Zur Ausführung des Versuches werden in das Rohr in den bestimmten Entfernungen $l_1\, l_2\, l_3 \ldots$ von einander die Kolben $C_0\, C_1\, C_2\, C_3$ eingeschraubt: zu jedem Kolben gehört ein eigener Inductionsapparat (oder mindestens eine eigene Spule für den inducirten Strom) und eine eigene Scheibe *D*, welch' letztere mit einer Winkeleintheilung

Fig. 50.



Lith. im k. k. t. & a. Militär-Comité, 1881.



versehen ist. Vor dem Schusse werden alle auf der gemeinschaftlichen Axe F, F'.. befestigten Scheiben $D_0\, D_1\, D_2 \ldots$ mittelst eines Uhrwerkes in gleichmässige Rotation versetzt: nach dem Schusse werden die Winkelpositionen der Marken auf den Scheiben abgelesen und aus den Differenzen je zweier unmittelbar aufeinander folgender Winkel mit Hilfe der bekannten Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben die Zeiten $t_1\, t_2\, t_3 \ldots$ berechnet. Sind, vom Nullpunkte der Winkeleintheilung der Scheiben an gezählt, $\alpha_0\, \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \ldots$ die bezüglichen Winkeldistanzen der Marken in Graden, und bezeichnet n die Zahl der Rotationen der Scheiben in Einer Secunde, so ist

$$t_1 = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{360n},\; t_2 = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{360n},\; t_3 = \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{360n} \ldots\ldots$$

Lässt sich aus den Daten der Messung keine für den ganzen Verlauf der Geschossbewegung giltige analitische Function $[x = \psi(t)]$, hingegen eine Reihe für die Zeiten $\tau_1 \tau_2 \tau_3 \ldots$, in welchen die successiven Bewegungsabschnitte 0—1, 1—2, 2—3... von der gleichen, genügend kleinen Länge λ zurückgelegt werden, ableiten, so kann innerhalb jedes dieser Abschnitte die Bewegung als gleichförmig beschleunigt angesehen werden, wornach sich die Geschwindigkeiten in den mittleren Punkten $I, II, III \ldots$ der Abschnitte aus $v_1 = \frac{\lambda}{\tau_1}$, $v_2 = \frac{\lambda}{\tau_2}$, $v_3 = \frac{\lambda}{\tau_3} \ldots$ ergeben. Werden ferner unter $P_1 P_2 P_3 \ldots$ die bewegenden Kräfte verstanden, welche, in den Theilen $I — II$, $II — III \ldots$ constant wirkend, die bezüglichen Zunahmen der Geschwindigkeiten herbeiführen würden, so folgen diese Kräfte aus den Gleichungen $P_1 \lambda = \frac{1}{2} m_1 (v_2{}^2 - v_1{}^2)$, $P_2 \lambda = \frac{1}{2} m_1 (v_3{}^2 - v_2{}^2)$, $P_3 \lambda = \frac{1}{2} m_1 (v_4{}^2 - v_3{}^2)$.. $P_1 P_2 P_3 \ldots$. können als mittlere, den Punkten 1, 2, 3.... entsprechende Gasdrücke gelten.

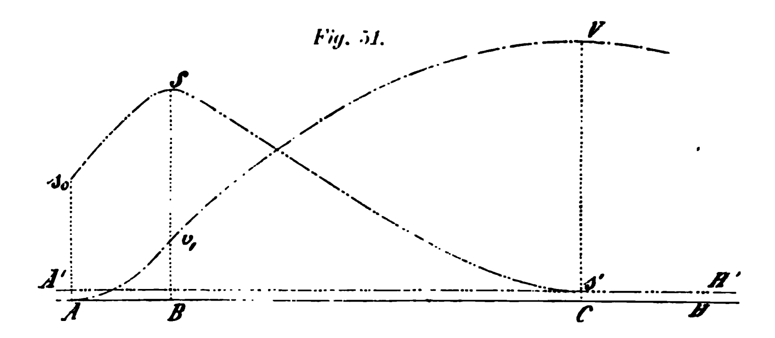
Eine andere Methode, die Geschossgeschwindigkeiten in verschiedenen Punkten des Rohres zu ermitteln und auf Grund derselben den Verlauf der Gasspannung festzustellen, besteht darin, dass das Rohr durch stückweises Abschneiden von der Mündung her successive verkürzt und jedesmal die Geschwindigkeit des Geschosses beim Verlassen des Rohres, also die der bezüglichen Rohrlänge entsprechende Anfangsgeschwindigkeit auf die bekannte Art* directe gemessen wird. Nachdem die Messung der Anfangsgeschwindigkeit im Grunde eine Zeitmessung ist, so trifft diese Methode im Principe mit der vorher beschriebenen zusammen, nur dass bei derselben die Zeitmessung nach ausserhalb des Rohres verlegt wird, wo sie viel präciser und genauer durchgeführt werden kann, um so mehr, als man es in der Hand hat, die Zeit (Geschwindigkeit) auf eine beliebige grössere Weglänge des Geschosses zu basiren, wodurch etwaige Fehler weniger ins Gewicht fallen. Diese Methode kann daher als die verlässlichste angesehen werden. —

Wird einerseits der Verlauf der Gasspannung während der Geschossbewegung, andererseits der Verlauf der Geschossgeschwindigkeit

---

* Siehe erster Abschnitt.

durch eine Curve dargestellt, indem man auf der Abscissenaxe *AH* (*Fig. 51*) die vom Geschoss zurückgelegten Weglängen und als Or-



dinaten die Gasspannungen (Gasdrücke), beziehungsweise die Geschwindigkeiten aufträgt, so besteht zwischen diesen beiden Curven folgender Zusammenhang: Infolge der continuirlichen Einwirkung des Gasdruckes auf das Geschoss, welches diesem stets neue Bewegungsimpulse ertheilt und seine Bewegung beschleunigt, muss die Geschossgeschwindigkeit bis zur Mündung fortwährend wachsen, gleichgiltig, ob die Gasspannung zu- oder abnimmt. Denkt man sich jedoch das Geschützrohr von unbegrenzter Länge, so dass das Gas bei fortgehender Abspannung die Spannung von 1 Atm. und darunter erlangt, so gewinnen die ihrem Betrage nach vom Gasdrucke unabhängigen Bewegungshindernisse (Adhäsion und Reibung vermöge des Geschossgewichtes, wozu noch der Widerstand der atmosphärischen Luft vor dem Geschosse tritt), welche bei grösserer Gasspannung als unbedeutend vernachlässigt werden konnten, gegenüber dem kleinen Gasdrucke an Bedeutung, und es wird ein Punkt erreicht, in welchem der auf die Ertheilung der fortschreitenden Bewegung entfallende Gasdruck gerade noch hinreicht, diesen Widerständen das Gleichgewicht zu halten: bis zu diesem Punkte reicht die beschleunigte Geschossbewegung, von hier an tritt bei der weiteren Bewegung Verzögerung ein.* Ist $s_0 Ss'$ die Curve der Spannungen, Av_1V die Curve der Geschwindigkeiten, und zieht man durch A' die zu AH Parallele $A'H'$ in solcher Entfernung, dass das abgeschnittene Ordinatenstück der Spannungscurve den zur Ueberwindung der vorangeführten Bewegungswiderstände erforderlichen Gasdruck bezeichnet, so ist die von $A'H'$ an gemessene Ordinate

* Siehe dritter Abschnitt, Länge des Fluges.

der auf die Bewegung* aufgewendete Theil des Gasdruckes, welcher als thätige Gasspannung bezeichnet werden soll.

In dem Punkte $C(s')$, wo die Curve der Spannungen $A'H'$ schneidet, ist die thätige Spannung $= 0$, daher der Uebergang von der beschleunigten zur verzögerten Bewegung, hier muss also die Geschwindigkeit ihren grössten Werth haben: das Maximum der Geschwindigkeit fällt mit dem Minimum ($= 0$) der thätigen Spannung zusammen. Das Maximum der Gasspannung BS markirt sich in der Curve der Geschwindigkeiten dadurch, dass an der Stelle desselben der Uebergang der Geschwindigkeitscurve aus der zur Abscissenaxe convexen in die concave Richtung stattfindet.

So wünschenswerth es wäre, sich bei Construction eines neuen Geschützes über die zu erwartende Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses durch Rechnung auf Grund der Constructionsdaten des Rohres und Geschosses: Inhalt des Ladungsraumes, Länge der Geschossbewegung, Geschossgewicht, — sowie des in Aussicht genommenen Gewichtes der Pulverladung zu orientiren, so kann eine solche Rechnung, weil sie einen bestimmten, von der unbekannten Verbrennungsweise der Pulverladung abhängigen Verlauf der Gasspannung als Basis nehmen müsste, zu keinem genauen Resultat führen. Dennoch soll im Folgenden der Gang einer solchen Rechnung, bei Supposition der einfachsten Verbrennungsweise der Ladung: vollständige Verbrennung derselben vor Beginn der Geschossbewegung, skizzirt werden. Hiebei werden die Bezeichnungen für die Masse des Geschosses m und der Ladung $m'\left(m + \frac{m'}{2} = m_1\right)$, für den Radius des Fluges r, für die Länge des Ladungsraumes l_0** und die Länge der ganzen Geschossbewegung L beibehalten, ferner das Geschossgewicht mit G, das Ladungsgewicht mit γ, der Ladungsquotient $\frac{\gamma}{G}$ mit q, das Verhältniss $\frac{L}{l_0}$ mit Λ, die Dichtigkeit der Ladung bei Reducirung der Pulverdichte auf 1 mit D bezeichnet; D bedeutet demnach das Gewicht der Pulvermenge in k/g, welche auf 1 ◯d/m des Ladungsraumes entfällt, und es ist $D = \frac{\gamma}{r^2 \pi l_0}$, wenn γ in k/g, r und l_0 in d/m eingeführt werden. Der Raum, welchen das Pulver, auf die Dichte $= 1$ reducirt, gänzlich ausfüllen würde, ist $Dr^2\pi l_0$; sei das Volumen des Rückstandes $\beta D r^2 \pi l_0$, so bleibt von dem Verbrennungsraume $r^2\pi l_0$ für die Ausbreitung der Gase der Raum $r^2\pi l_0 - \beta D r^2 \pi l_0 = (1 - \beta D) r^2 \pi l_0$, oder wenn zur Abkürzung $1 - \beta D = \delta$

---

* Hierunter ist die fortschreitende und rotatorische Bewegung des Geschosses, die Bewegung der Ladung und die Ueberwindung der durch die Bewegung bedingten, daher vom Gasdrucke abhängigen Widerstände (Reibung in den Zügen etc.) zu verstehen; auf das Einschneiden der Felder ist hier überhaupt nicht Rücksicht genommen.

** Wenn der Ladungsraum einen vom Fluge abweichenden Radius hat, so bedeutet l_0 die reducirte Länge desselben, d. h. die Länge eines Cylinders vom Radius r, dessen Rauminhalt so gross ist, wie jener des Ladungsraumes.

gesetzt wird, $\delta r^2 \pi l_0$ übrig. Würde die Explosion in dem Raume $D r^2 \pi l_0$ stattfinden, so wäre der Ausbreitungsraum des Gases $(1-\beta) D r^2 \pi l_0$ und es würde sich die absolute Spannung p_{max} Atm. ergeben; die Spannung im Ladungsraume ist daher

$$p_0 = \frac{(1-\beta) D r^2 \pi l_0}{\delta r^2 \pi l_0} p_{max} = \frac{(1-\beta) D}{\delta} p_{max} \text{ Atm.}$$

und der ursprüngliche Druck zur Fortbewegung der Masse m_1 in $^k/_g$

$$P_0 = 103 r^2 \pi p_0 = 103 r^2 \pi \frac{(1-\beta) D}{\delta} p_{max}$$

oder nach Einsetzung von $D = \frac{\gamma}{r^2 \pi l_0}$

$$P_0 = 103 \frac{(1-\beta)}{\delta l_0} \gamma p_{max}$$

Während der Geschossbewegung verlauft die Gasspannung nach dem Poisson'schen Gesetze, daher ist der Druck am Ende des Weges x

$$P = P_0 \left(\frac{\delta l_0}{\delta l_0 + x} \right)^k$$

Die Gleichung für die Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit ist

$$\frac{1}{2} m_1 V^2 = \frac{1}{10} \int_0^L P dx^* = \frac{P_0 (\delta l_0)^k}{10} \int_0^L \frac{dx}{(\delta l_0 + x)^k} = \frac{P_0 (\delta l_0)^k}{10(1-k)} \left[(\delta l_0 + L)^{1-k} - (\delta l_0)^{1-k} \right] =$$

$$= \frac{P_0 \delta l_0}{10(k-1)} \left[1 - \left(\frac{\delta l_0}{\delta l_0 + L} \right)^{k-1} \right];$$

durch Einsetzen des obigen Werthes für P_0 wird

$$\frac{1}{2} m_1 V^2 = \frac{10 \cdot 3}{k-1} (1-\beta) \gamma p_{max} \left[1 - \left(\frac{\delta l_0}{\delta l_0 + L} \right)^{k-1} \right].$$

Wird $m_1 = \dfrac{G + \frac{\gamma}{2}}{g} = \dfrac{2G + \gamma}{2g}$ eingesetzt, so ergibt sich

$$V = \sqrt{\frac{20 \cdot 6}{k-1} g (1-\beta) p_{max}} \cdot \sqrt{\frac{2\gamma}{2G + \gamma}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\delta l_0}{\delta l_0 + L} \right)^{k-1}}$$

oder wenn $\frac{\gamma}{G} = q$ und $\frac{L}{l_0} = \varDelta$ eingeführt und $\sqrt{\frac{20 \cdot 6}{k-1} g (1-\beta) p_{max}} = B$ gesetzt wird,

$$V = B \sqrt{\frac{2q}{2+q}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\delta}{\delta + \varDelta} \right)^{k-1}}$$

Nach den Versuchen von *Noble* und *Abel* ist $\beta = 0 \cdot 57$, $p_{max} = 6554$, $k = 1 \cdot 074$ zu setzen, und da $g = 9 \cdot 8 ^m/$ ist, so ergibt sich $B = 2773$ und

$$V = 2773 \sqrt{\frac{2q}{2+q}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\delta}{\delta + \varDelta} \right)^{0 \cdot 074}}$$

worin $\delta = 1 - 0 \cdot 57 D$ eingesetzt werden muss.

---

* Wenn das Geschoss- und Ladungsgewicht in Kilogrammen, V **in Metern**, x aber in Decimetern gerechnet wird.

Beispiel. Bei einem Ladungsquotienten $q = \frac{1}{5}$, einer Ladungsdichtigkeit $D = 1$ und $L = 5l_0$ ($\varDelta = 5$) würde eine Geschwindigkeit $V = 500$ m/s folgen.

Die wirkliche Anfangsgeschwindigkeit wird mit der nach dieser Formel gerechneten um so genauer übereinstimmen, je kürzer der Verbrennungsprocess der Ladung andauert und je grösser die Länge des ganzen Geschossweges im Verhältniss zu derjenigen ist, welche das Geschoss während der fortdauernden Pulververbrennung zurücklegt; die Rechnung wird daher bei langen Rohren sowie bei kleinen Ladungen und rasch verbrennendem Pulver ziemlich richtige Resultate ergeben.

Der Einfluss der langsameren Verbrennung der Ladung wird sich einerseits in der Verminderung der anfänglichen Gasspannung, andererseits in dem gleichmässigeren Verlauf der Spannungen, d. h. in der Verkleinerung des Exponenten k geltend machen. Nachdem dieser Exponent für Pulver ohnehin nicht viel von der Einheit verschieden ist, so wird er für langsamere Pulversorten auch unter 1 sinken können. Erfahrungsgemäss erhält man bei langsamer verbrennenden Pulversorten ein der Wirklichkeit ziemlich nahe kommendes Resultat, wenn man $k = 1$ setzt, d. h. für den Verlauf der Gasspannung das einfache Mariotte'sche Gesetz supponirt. In diesem Falle ist $P = P_0 \dfrac{\delta l_0}{\delta l_0 + x}$ und

$$\frac{1}{2} m_1 V^2 = \frac{P_0 l_0 \delta}{10} \int_0^L \frac{\delta x}{\delta l_0 + x} = \frac{P_0 \delta l_0}{10} Lg \frac{\delta l_0 + L}{\delta l_0} = \frac{P_0 \delta l_0}{10} Lg \frac{\delta + \varDelta}{\delta}.$$

Nimmt man ferner an, dass sich hiebei P_0 gegen früher nicht (oder nur unbedeutend) ändert, so kann

$$\frac{1}{2} m_1 V^2 = 10 \cdot 3 (1 - \beta) \gamma p_{max} Lg \frac{\delta + \varDelta}{\delta}$$

gesetzt werden. Hieraus folgt

$$V = \sqrt{20 \cdot 6 (1 - \beta) g p_{max}} \cdot \sqrt{\frac{2q}{2+q}} \cdot \sqrt{Lg \frac{\delta + \varDelta}{\delta}}$$

und wenn $\sqrt{20 \cdot 6 (1 - \beta) g p_{max}} = B'$ gesetzt wird

$$V = B' \sqrt{\frac{2q}{2+q}} \cdot \sqrt{Lg \frac{\delta + \varDelta}{\delta}};$$

mit den von *Noble* und *Abel* gefundenen Werthen für β und p_{max} ist

$$V = 754 \sqrt{\frac{2q}{2+q}} \cdot \sqrt{Lg \frac{1 - 0 \cdot 57D + \varDelta}{1 - 0 \cdot 57D}}.$$

Für die im obigen Beispiel angeführten Daten würde sich aus dieser Formel $V = 512$ m/s ergeben.

In der lebendigen Kraft $A' = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{g} V^2$, welche das aus der Mündung tretende Geschoss in sich aufgenommen, ist die **Nutzarbeit** der Pulver-

---

* In dem weiter oben durchgeführten Beispiel wurde, bei Vernachlässigung des durch den Rückstand eingenommenen Raumes, $k = \frac{3}{4}$ angenommen; dem vollkommen gleichmässigen Verlauf der Gasspannung würde $k = 0$ entsprechen.

ladung ausgedrückt; der **Ausnützungscoëfficient** der Ladung ist demnach, wenn a die specifische Arbeit des Pulvers, daher $A = \gamma a$ die totale Arbeit der Ladung bezeichnet,

$$\mathfrak{A} = \frac{A'}{A} = \frac{G}{2ga\gamma} \cdot V^2 = \frac{V^2}{2gaq}.$$

Beispiel. Für ein 15 cm Geschoss vom Gewichte $G = 35{\cdot}2$ kg, mit der Ladung $\gamma = 8$ kg abgeschossen, wird durch directe Messung eine Anfangsgeschwindigkeit von $V = 500$ m/s constatirt, die lebendige Kraft, welche das Geschoss in sich aufgenommen, die Nutzarbeit ist demnach $A' = 448980$ mkg; die totale Arbeit der Ladung wäre, wenn $a = 700 \times 424 = 296800$ mkg angenommen wird, $A = 2374400$ mkg, daher der Ausnützungscoëfficient $\mathfrak{A} = 0{\cdot}19$.*

Der Ausnützungscoëfficient ist von dem Verlauf der Gasspannung im Rohre, also hauptsächlich von der zur Anwendung kommenden Pulversorte und von der Construction des Rohres abhängig. Kennt man daher in einem bestimmten Rohre und bei einer bestimmten zur Anwendung kommenden Pulversorte den Ausnützungscoëfficienten $\mathfrak{A}$, so gewinnt man eine einfache Formel zur Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit für verschiedene Geschoss- und Ladungsgewichte, denn es ist die Anfangsgeschwindigkeit in diesem Falle nur von dem bezüglichen Ladungsquotienten q abhängig, nämlich $V = \sqrt{2ga\mathfrak{A}} \cdot \sqrt{q}$, oder wenn $\sqrt{2ga\mathfrak{A}} = \mathfrak{A}'$ gesetzt wird, $V = \mathfrak{A}'\sqrt{q}$. Dies kann dazu dienen, um sich über die zu erwartende Aenderung der Anfangsgeschwindigkeit annähernd zu orientiren, wenn in einem Rohre das Geschoss- oder das Ladungsgewicht oder beide geändert werden. Sei die einem bestimmten Ladungsquotienten q zukommende bekannte Anfangsgeschwindigkeit $= V$ und die einem anderen Ladungsquotienten q' entsprechende $= V'$, so ist $V = \mathfrak{A}'\sqrt{q}$ und $V' = \mathfrak{A}'\sqrt{q'}$, daher die Proportion $\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{q'}{q}}$, d. h. »**die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Ladungsquotienten.**« Führt man $q = \frac{\gamma}{G}$ und $q' = \frac{\gamma'}{G'}$ ein, so ist $\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{\gamma'}{\gamma}} \cdot \sqrt{\frac{G}{G'}}$, d. h. »**die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Ladungsgewichten und die Quadratwurzeln aus den umgekehrten Geschossgewichten.**« Jedoch ist zu bemerken, dass dies nur bei kleinen Aenderungen der Geschoss- und Ladungsgewichte ziemlich verlässlich ist, nachdem grössere Aenderungen dieser Factoren in der Regel eine Aenderung des Verlaufes der Gasspannungen, daher auch des Ausnützungscoëfficienten zur Folge haben.

Wie für ein und dasselbe Rohr, hat die obige Proportion auch eine annähernde Giltigkeit für zwei vollkommen ähnliche, sich nur im Kaliber unterscheidende Rohre, wenn sich die Pulversorte nicht ändert und der Unterschied der Kaliber kein grosser ist.

---

* Die Ausnützung der Ladung in einem bestimmten Falle wird häufig auch dadurch charakterisirt, dass die auf 1 kg des Ladungsgewichtes entfallende lebendige Kraft des Geschosses angegeben wird; im obigen Beispiele würden sich 56120 mkg oder 56·12 Metertonnen pro Kilogramm der Ladung ergeben.

III. Wirkung des Gasdruckes auf den Stossboden, Rücklauf. Beanspruchung des Rapertes.

a) Rücklauf.

Der Druck des Pulvergases auf den Stossboden bewirkt zunächst eine Bewegung des Rohres nach rückwärts, in der Richtung der Rohraxe; diese selbständige Bewegung des Rohres kann nur so lange andauern, bis die Schildzapfen um den Spielraum in den Schildpfannen zurückgewichen sind und an die letzteren anstossen. Hiedurch wird die Bewegung dem Raperte mitgetheilt und es beginnt der Rücklauf des Geschützes. Nachdem der Rücklauf nur in der zur Unterlage des Rapertes parallelen — horizontale Unterlage vorausgesetzt — horizontalen Richtung erfolgen kann, so wird, im Falle das Rohr eine Elevation hat, nur die Horizontalcomponente der Stosskraft auf die Bewegungsmittheilung wirken, während die Verticalcomponente das Rapert gegen die Unterlage pressen und eine Reibung erzeugen wird, welche die sonstigen Bewegungswiderstände verstärkt. Infolge des fortdauernden Druckes auf den Stossboden wird die durch den Stoss auf das Geschütz übergegangene Bewegung eine Beschleunigung erfahren; die bewegende Kraft ist in jedem Zeitmoment $K = P'(\cos\alpha - f\sin\alpha) - Qf - B$, worin P' den Gasdruck auf den Stossboden, α den Elevationswinkel, Q das Gewicht des Geschützes (Rohr und Rapert), f den Reibungscoëfficienten und B die durch den Bremsdruck repräsentirte Kraft bedeutet. Wenn der Gasdruck auf den Stossboden aufhört, $P' = 0$ wird, so wirkt ferner nur die verzögernde Kraft $K' = Qf + B$, welche das Geschütz zum Stillstand bringt.

Denkt man sich zuerst das Rohr unabhängig vom Raperte sich bewegend, so besteht während der Geschossbewegung im Rohre und der Rohrbewegung folgender Zusammenhang: Bezeichnet $r^2\pi$ die Querschnittsfläche des Geschosses,* auf welche die Gasspannung p wirkt, $r_1{}^2\pi$ die Fläche des Stossbodens, so wird das Geschoss sammt der halben Ladung, die Masse $m_1 = m + \frac{m'}{2}$, durch die Kraft $P = 1\cdot03 r^2\pi p$, das Rohr von der Masse μ durch die Kraft $P' = 1\cdot03 r_1{}^2\pi p$ gleichzeitig bewegt; die auf Geschwindigkeit und Zeit basirte Gleichung ist,

---

* Hierunter ist bei Geschossen, welche die Bohrung dicht abschliessen, der Lichtenquerschnitt des Fluges, einschliesslich der Züge, zu verstehen.

wenn $p = \varphi(t)$ vorausgesetzt wird, für die Bewegung nach vorwärts $m_1 v = 1 \cdot 03 r^2 \pi \int_0^t \varphi(t) dt$ und für die Bewegung des Rohres $\mu u = 1 \cdot 03 r_1^2 \pi \int_0^t \varphi(t) dt$, es ist also für gleichzeitig (am Ende einer und derselben Zeit t) eintretende Geschwindigkeiten v und u der beiden Bewegungen $\frac{\mu u}{m_1 v} = \frac{r_1^2}{r^2}$, woraus die Rohrgeschwindigkeit $u = \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{m_1}{\mu} v$ und, wenn das Flächenverhältniss $r_1^2 \pi : r^2 \pi = n$ gesetzt wird,

$$u = n \frac{m_1}{\mu} v = n \frac{m + \frac{m'}{2}}{\mu} v$$ folgt. Die Rohrgeschwindigkeit am Ende der Zeit T (beim Austritte des Geschosses aus der Mündung) ist

$$U' = n \frac{m + \frac{m'}{2}}{\mu} V;$$ würde in diesem Momente der Gasdruck P_1 zu wirken aufhören, so wäre U' die grösste Geschwindigkeit des Rohres. Nachdem aber in den meisten Fällen beim Geschossaustritte das Gas noch eine beträchtliche Spannung hat,* welche wegen der Länge der Bohrung nicht an allen Stellen momentan in die Atmosphärenspannung übergehen kann, daher der Gasdruck auf den Stossboden noch einige Zeit nachwirkt, so wird die Rohrgeschwindigkeit noch eine Steigerung erfahren; diesem Umstande wird dadurch Rechnung getragen, dass die grösste Rohrgeschwindigkeit $U = n \frac{m + \eta m'}{\mu} V$ gesetzt wird, wo η einen praktisch zu ermittelnden Zahlencoëfficienten $> \frac{1}{2}$ bedeutet.

Setzt man in die obigen Bewegungsgleichungen $v = \frac{dx}{dt}$, $u = \frac{dz}{dt}$, so ist $m_1 x = 1 \cdot 03 r^2 \pi \int_0^t dt \int_0^t \varphi(t) dt$ und $\mu z = 1 \cdot 03 r_1^2 \pi \int_0^t dt \int_0^t \varphi(t) dt$; sind l und z die vom Geschosse und Rohre gleichzeitig zurückgelegten Wege, so ist $\frac{\mu z}{m_1 l} = \frac{r_1^2}{r^2} = n$, daher die Weglänge des Rohres $z = n \frac{m_1}{\mu} l$.

Der Spielraum der Schildzapfen in den Schildpfannen ist so klein, dass die selbständige Bewegung des Rohres ausseracht gelassen und angenommen werden kann, das Geschütz als Ganzes beginne seine Bewegung gleichzeitig mit dem Geschosse, wodurch an die Stelle der Rohrbewegung die Geschützbewegung tritt. In dem Ausdrucke für die das Geschütz bewegende Kraft $K = P'(\cos\alpha - f \sin\alpha) - (Qf + B)$

---

* Im oben angeführten Beispiele eines 15 cm Geschützes 580 Atm.

ist das zweite Glied $Qf + B$ gegen das erste sehr unbedeutend und kann vernachlässigt, nämlich $K = P'(\cos\alpha - f\sin\alpha)$, und wenn $\cos\alpha - f\sin\alpha = \nu$ bezeichnet wird, $K = \nu P'$ gesetzt werden. Bedeutet μ' die Masse des Rapertes,* $M = \mu + \mu'$ die Masse des Geschützes, w die Geschwindigkeit des Geschützes am Ende der Zeit t, y den in dieser Zeit zurückgelegten Weg, so muss nach Analogie mit dem Obigen $Mw = \nu\mu u$ und $My = \nu\mu z$ sein, woraus $w = \nu\frac{\mu}{M}u =$

$= \nu n\frac{m_1}{M}v = (\cos\alpha - f\sin\alpha)\frac{r_1^2}{r^2}\cdot\frac{m + \frac{m'}{2}}{\mu + \mu'}v$ und $y = \nu\frac{\mu}{M}z = \nu n\frac{m_1}{M}l =$

$= (\cos\alpha - f\sin\alpha)\frac{r_1^2}{r^2}\cdot\frac{m + \frac{m'}{2}}{\mu + \mu'}l$ folgt. Die grösste Geschwindigkeit des Geschützes ist $W = (\cos\alpha - f\sin\alpha)\frac{r_1^2}{r^2}\frac{m + \eta m'}{\mu + \mu'}V$; sie tritt wegen der Nachwirkung des Gasdruckes auf den Stossboden etwas nach dem Austritte des Geschosses ein. Nachdem der Weg $\lambda_0 = \nu n\frac{m + \eta m'}{M}L$, welchen das Geschütz bis zur Erreichung der grössten Geschwindigkeit zurücklegt, gegen die ganze Länge des Rücklaufes sehr klein ist, so kann er unberücksichtigt gelassen und der Rücklauf als nach dem Aufhören des Gasdruckes anfangend betrachtet werden; in diesem Sinne ist W die Anfangsgeschwindigkeit des Rücklaufes.

Die Anfangsgeschwindigkeit des Rücklaufes nimmt mit dem Wachsen der Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses, des Geschoss- und Ladungsgewichtes zu, mit dem Wachsen des Rohr- und Rapert- (Geschütz-)Gewichtes aber ab; sie ist ferner um so grösser, je grösser die Stossbodenfläche im Verhältniss zur Geschossquerschnittsfläche ist. Diese Geschwindigkeit ist aber auch mit der Elevation α** veränderlich, u. zw. nimmt sie um so mehr ab, je grösser die Elevation wird; bei

* Der an der Bewegung theilnehmenden Laffetirungstheile, bei Schlittenraperten des eigentlichen Rapertes (Obergestelles).

** α bedeutet hier den Winkel, welchen die Axe des elevirten Rohres mit der Bewegungsrichtung des Geschützes einschliesst, ist daher nur bei horizontaler Unterlage identisch mit dem Elevationswinkel; bei geneigter Unterlage ist für α die Differenz(-Summe) des Elevationswinkels und des Neigungswinkels der Unterlage zu nehmen.

einer bestimmten Elevation, welche sich aus $ctg\,\alpha = f$ ergibt, ist $W = 0$ und es findet gar kein Rücklauf statt.

Für metallene Raperte, welche auf eben solchen Unterlagen laufen (eiserne Schlittenraperte), kann $f = 0\cdot14$ gesetzt werden, womit $\alpha = 82^0$ als Winkel sich ergibt, bei welchem das Geschütz nicht mehr zurücklaufen würde. Bei hölzernen Blockraperten auf hölzernen Unterlagen (Mörserschleifen auf Bettungen) würde, da $f = 0\cdot5$ angenommen werden kann, schon bei Winkeln über 63^0 der Rücklauf aufhören: das Geschütz wird gegen die Unterlage gepresst und durch die Repulsion derselben in die Höhe geschnellt.

Für die Bewegung nach Erreichung der grössten Geschwindigkeit — den eigentlichen Rücklauf — bestehen die Gleichungen

$$M\int_W^0 dw = -\int_0^\Theta K'dt \text{ und } M\int_W^0 w\,dw_2 = \int_0^\lambda K'dy,$$

aus welchen, wenn K' constant ist, $MW = K'\Theta$ und $\frac{1}{2}MW^2 = K'\lambda$ folgt.

Zur Orientirung über die hier dargelegten Bewegungsverhältnisse soll das oben zur Geschossbewegung angenommene Beispiel eines 15 %m Geschützes weiter geführt werden. Es sei das Rohrgewicht 4000 k/g, das Rapertgewicht 1000 k/g, daher das Geschützgewicht $Q = 5000$ k/g und die Massen $\mu = 408$, $\mu' = 102$, $M = \mu + \mu' = 510$, ferner die als constant vorausgesetzte Kraft der Bremse $B = 1800$ k/g, $f = 0\cdot14$, der Spielraum der Schildzapfen in den Pfannen $2z_1 = 1$ m/m, also, wenn die Schildzapfen genau in der Mitte der Pfannen lagern, der Weg, um welchen sie zurückweichen können $z_1 = 0\cdot5$ m/m $= 0\cdot0005$ m/. Wenn $r_1^2\pi = r^2\pi$ angenommen wird, so ist $n = 1$, $P' = P$ und folglich für den Weg l_1 des Geschosses bis zum Anstossen der Schildzapfen an die Pfannen $m_1 l_1 = \mu z_1$, woraus $l_1 = \frac{\mu}{m_1} z_1 = 0\cdot051$ m/ folgt; am Ende dieses Weges l_1 hat nach der unter *B)* angeführten Reihe das Geschoss die Geschwindigkeit von etwas mehr als 96 m/ (genau 96·4 m/), daher ist die Geschwindigkeit des Rohres beim Anstossen, nach $\mu u = m_1 v$, $u = \frac{m_1}{\mu} v = 0\cdot975$ m/. Zieht man die Kürze des vom Geschosse zurückgelegten Weges l_1 in Betracht, erwägt man ferner, dass der angenommene Spielraum von 1 m/m bei eisernen Raperten kaum vorkommen dürfte und dass bei einer Rohrelevation die Schildzapfen wahrscheinlich mehr gegen rückwärts lagern werden, wodurch z_1 sich weiter vermindert, — so wird man die Ausserachtlassung der selbständigen Bewegung des Rohres gerechtfertigt finden. Ebenso sieht man, dass in dem Ausdrucke $K = P(\cos\alpha - f\sin\alpha) - (Qf + B)$ der Theil $P(\cos\alpha - f\sin\alpha)$ selbst dort, wo P den kleinsten Werth hat (beim Geschossaustritte), unvergleichlich grösser ist als $Qf + B = 700 + 1800 = 2500$ k/g, denn es ist jener kleinste Werth $P = 180 \times 580 = 104400$ k/g und für eine Elevation von $\alpha = 10^0$, welche als die grösste gebräuchliche angesehen werden kann, $P(\cos\alpha - f\sin\alpha) = 0\cdot9605P = 100276$ k/g; es kann daher mit gutem Grund $K = \nu P$ gesetzt werden.

Nimmt man horizontale Rohrlage ($\alpha = 0$) an, so ist $\nu = 1$, und da auch $n = 1$, so ergibt sich die Geschwindigkeit W, welche das Geschütz im Momente

des Geschossaustrittes erlangt, aus $MW' = \left(m + \frac{m'}{2}\right) V$ mit $W' = \frac{4}{510} \cdot 500 =$ $= 3 \cdot 92$ m/; wegen der Nachwirkung des Gasdruckes auf den Stossboden ist für die grösste Geschwindigkeit des Geschützes W zu setzen: $MW = (m + \eta m')V$, woraus mit der Annahme $\eta = 1$, $m + \eta m' = 4 \cdot 408$, $W = 4 \cdot 32$ m/ folgt. Für die Weglänge λ_0 des Geschützes bis zur Erreichung der grössten Geschwindigkeit ist $M\lambda_0 = (m + \eta m')L$, daher $\lambda_0 = \frac{4 \cdot 408}{510} 2 \cdot 8 = 0 \cdot 024$ m/ $= 24$ mm, welche Zahl klein genug ist, um in der ganzen Länge des Rücklaufes unberücksichtigt bleiben zu können.

Für den nun beginnenden eigentlichen Rücklauf ist die Anfangsgeschwindigkeit $W = 4 \cdot 32$ m/, die verzögernde Kraft $K' = Qf + B = 2500$ kg; die Rücklauflänge λ ergibt sich aus $K'\lambda = \frac{1}{2} MW^2$ mit $\lambda = 1 \cdot 904$ m/ und die Zeit Θ der Bewegung aus $K'\Theta = MW$ mit $\Theta = 0 \cdot 881$ Secunden. —

Nachdem der auf die Schildpfannen übertragene Gasdruck das Geschütz nicht im Schwerpunkte angreift, so entsteht, insoferne die Richtung des Druckes (wenn keine Herabsetzung der Schildzapfen vorhanden, die Rohraxe) nicht auf den Schwerpunkt trifft, ein Impuls zur Drehung von vorne gegen oben. Diese Drehung kann jedoch wegen des Widerstandes der Unterlage nicht um den Schwerpunkt S (*Fig. 52*), sondern um Z, die rückwärtigste Aufliegekante der Rapertwände, erfolgen. Dieser letzteren Drehung wirkt das Geschützgewicht Q entgegen, indem es das Geschütz gegen unten zurückzudrehen strebt; der Drehimpuls wird daher nur dann wirklich vorhanden sein, wenn das Drehmoment der Druckkraft grösser ist, als jenes des Geschützgewichtes. Bezeichnet man den Hebelarm ZN der Druckkraft mit ζ, jenen des Geschützgewichtes ZS' mit σ, so ist $\zeta P' - \sigma Q$ das Moment der Drehung gegen oben; ist $MM' = h$ die Höhe der Schildzapfenaxe über der Unterlage, $\sphericalangle MZM' = \beta$ der Laffetenwinkel, so ist $MZ = \frac{h}{\sin \beta}$, $\zeta = MZ \sin(\beta - \alpha) =$ $= h \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} = h(\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta)$ und $\zeta P' = hP'(\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta)$.

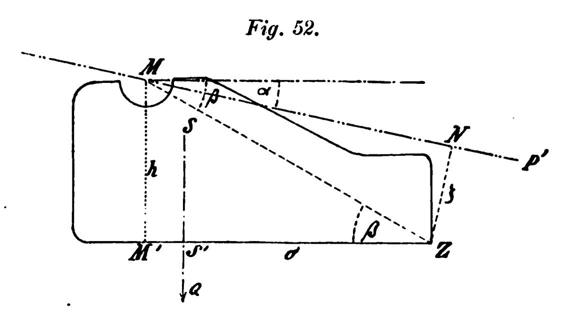


Fig. 52.

Wie ersichtlich, nimmt das Drehmoment der Druckkraft bei einem und demselben Gasdrucke mit dem Wachsen der Elevation ab, wächst aber mit der Höhe h des Rapertes und mit dem Laffetenwinkel, welch' letzterer bei constanter Raperthöhe mit der Verkürzung des Rapertes zunimmt; nachdem bei kürzeren Raperten überdies σ kleiner wird, so ist das Rapert um so mehr der Drehung, dem Aufspringen, unterworfen, je kürzer und höher dasselbe und je kleiner der Elevationswinkel ist.

b) Beanspruchung des Rapertes.

Von den Vorgängen bei Mittheilung der Bewegung des Rohres an das Rapert kann man sich ungefähr folgendes Bild machen.

Infolge des von den Schildzapfen auf die Pfannen ausgeübten Druckes wird zunächst eine Molecularverschiebung in der angegriffenen Stelle (rückwärtige Schildpfannenpartie) eintreten, d. h. es werden die Molecule an dieser Stelle dem Drucke weichend sich in der Richtung desselben nach rückwärts bewegen. Hiedurch wird der elastische Widerstand des Materials wachgerufen, welcher das Fortschreiten der Impulsion in der Masse der Rapertwand verzögert, so dass die Bewegung zwar sehr rasch, aber nicht momentan den entfernteren Raperttheilen mitgetheilt wird. Es wird demnach eine — wenn auch kleine — Zeit vergehen vom Auftreten des ersten Bewegungsimpulses an den Schildpfannen bis zu dem Momente, in welchem das Rapert als Ganzes die Bewegung wirklich beginnt; dieselbe Zeit, welche mit τ bezeichnet werden soll, vergeht vom Auftreten jedes folgenden Impulses bis zu dem Momente, in dem sich die ihm äquivalente Beschleunigung der Rapertbewegung geltend macht. Während der Zeit τ werden sich demnach die verschiedenen Punkte der Rapertwand in verschiedenen Bewegungszuständen befinden, u. zw. wird die Schildpfannenpartie das grösste Mass der Bewegung haben, während der entfernteste Punkt (der Rapertschwanz) noch am Ende der Zeit τ in — absoluter oder relativer — Ruhe sein wird; dies wird ein Zusammenpressen der Rapertwand, also eine Beanspruchung der Materialfestigkeit zur Folge haben. Nach der Zeit τ wird die repulsive Wirkung der Elasticität den gleichmässigen Bewegungszustand im ganzen Raperte herstellen und das Material in seinen ursprünglichen Zustand zurückführen.* Nachdem während der Zeit T, so lange der Gasdruck auf den Stossboden andauert, eine ununterbrochene

* Vorausgesetzt selbstverständlich, dass die Beanspruchung die Grenze der vollständigen Elasticität des Materials nicht überschreitet.

Folge von Impulsen vom Rohre auf das Rapert übergeht, so kann man sich die Molecularbewegung in den Rapertwänden als eine impulsive Strömung vorstellen, welche von der rückwärtigen Wand der Schildpfannen ausgeht und eine entgegengesetzt gerichtete — repulsive — Strömung hervorruft; der Ausgleich dieser Strömungen geschieht erst nach der Zeit $\tau + T$. Wäre das Rapert absolut unbeweglich, so würde die ganze Arbeit des Gasdruckes auf den Stossboden, eben weil sie nicht in der wirklichen Bewegung zum Ausdrucke gelangt, sich in der Formänderung des Rohres und des Rapertes, oder wenn man das erstere als unveränderlich betrachtet, des Rapertes allein äussern; um die Ausdauer des Rapertes sicher zu stellen, müsste die Elasticität und Festigkeit desselben stark genug sein, diese Formänderung wieder aufzuheben, d. h. es müsste die Arbeit des wachgerufenen elastischen Widerstandes der Arbeit des totalen Gasdruckes gleich sein. Diese letztere ist in der lebendigen Kraft $S = \frac{1}{2}\mu U^2$ ausgedrückt, welche das ausser Verbindung mit dem Raperte gedachte Rohr bei Erreichung der grössten Geschwindigkeit in sich aufgenommen hätte; da $\mu U = nm_1 V$ und

$$U = n\frac{m_1}{\mu}V = \frac{r_1^{\,2}}{r^2}\,\frac{m+\eta m'}{\mu}V, \text{ so ist } S = \frac{1}{2}\mu\left(n\frac{m_1}{\mu}V\right)^2 = n^2\frac{m_1}{\mu}\left(\tfrac{1}{2}m_1 V^2\right):$$

Dies ist die grösste Beanspruchung, welche das Rapert erleiden könnte. Ist hingegen das Rapert nicht unbeweglich, so entfällt in jedem Falle derjenige Theil von S als Beanspruchung des Rapertes, welcher nicht in der Bewegung des Geschützes zum Ausdrucke kommt. Um dem Geschütz die grösste Geschwindigkeit W zu ertheilen, ist die lebendige Kraft $S_1 = \frac{1}{2}(\mu + \mu')W^2$ nothwendig; wegen

$$W = \nu n\frac{m_1}{\mu+\mu'}V \text{ ist } S_1 = \frac{1}{2}(\mu+\mu')\left(\nu n\frac{m_1}{\mu+\mu'}V\right)^2 = \nu^2 n^2\frac{m_1}{\mu+\mu'}\left(\tfrac{1}{2}m_1 V^2\right),$$

daher die wirkliche Beanspruchung des Rapertes

$$S_2 = S - S_1 = n^2\frac{m_1}{\mu}\cdot\frac{\mu'+(1-\nu^2)\mu}{\mu+\mu'}\left(\tfrac{1}{2}m_1 V^2\right) = \frac{\mu'+(1-\nu^2)\mu}{\mu+\mu'}S = NS,$$

wo $N = \dfrac{\mu'+(1-\nu^2)\mu}{\mu+\mu'}$ einen Coëfficienten $N \gtrless 1$ bezeichnet.

In dem Ausdrucke für die mögliche Maximalbeanspruchung des Rapertes $S = n^2\dfrac{m+\eta m'}{\mu}\cdot\frac{1}{2}(m+\eta m')V^2$ kann wegen der Nach-

wirkung des Gasdruckes auf den Stossboden im Allgemeinen $\eta = 1$ gesetzt werden, wodurch $S = n^2 \frac{m+m'}{\mu} \cdot \frac{1}{2}(m+m')V^2$ wird. Versteht man unter dem Ausdrucke »Ladung« kurzweg das Geschoss und die Pulverladung, deren Masse $m + m'$ ist, so sieht man, dass S von der lebendigen Kraft der Ladung beim Geschossaustritte, von dem Verhältnisse des Ladungsgewichtes zum Rohrgewichte und von dem Verhältnisse der Stossboden- zur Geschossquerschnittsfläche abhängt; bei einer und derselben lebendigen Kraft der Ladung wird S im Wesentlichen um so grösser sein, je grösser das Ladungsgewicht und je kleiner das Rohrgewicht ist.*

Für den Coëfficienten $N = \frac{\mu' + (1-\nu^2)\mu}{\mu + \mu'}$, welcher das Verhältniss der wirklichen Beanspruchung zur Maximalbeanspruchung ausdrückt, ist bei einem und demselben Geschütze (constantes Rohr- und Rapertgewicht) der Werth von $\nu = \cos\alpha - f\sin\alpha$, also der Elevationswinkel α massgebend; für Winkel $> \alpha_{max}$, welch' letzterer sich aus $ctg\,\alpha = f$ ergibt, ist $\nu = 0$, $N = 1$, $S_2 = S$, d. h. die wirkliche Beanspruchung gleich der Maximalbeanspruchung, eben weil eine Bewegung des Geschützes nicht stattfindet. Je kleiner die Elevation, desto kleiner wird die Beanspruchung: für $\alpha = 0$ ist $N = \frac{\mu'}{\mu + \mu'} = \frac{1}{1+\frac{\mu}{\mu'}}$ und $S_2 = \frac{1}{1+\frac{\mu}{\mu'}} S$: Dies ist die kleinste Beanspruchung des Rapertes. Wie der Factor $\frac{1}{1+\frac{\mu}{\mu'}}$ zeigt, ist die Minimalbeanspruchung um so grösser, je kleiner das Verhältniss zwischen dem Rohr- und Rapertgewichte ist, dasselbe gilt von jeder anderen, einer bestimmten Elevation entsprechenden Beanspruchung $< S$;** es leiden

---

* Hierin ist die Aufklärung desjenigen zu suchen, was am Schlusse des dritten Abschnittes über das Rohrgewicht gesagt wurde.

** Denn es ist $N = \frac{1 + (1-\nu^2)\frac{\mu}{\mu'}}{1 + \frac{\mu}{\mu'}}$, so lange $S_2 < S$, ist $1 - \nu^2 < 1$ und es überwiegt der Einfluss des Nenners; für $S_2 = S$, $\nu = 0$, $N = 1$ kommt das Verhältniss $\frac{\mu}{\mu'}$ nicht mehr in Betracht.

also die Raperte um so mehr durch den Rückstoss, je schwerer sie sind.

Resumirt man den Einfluss des Ladungs-, Rohr- und Rapertgewichtes auf die Beanspruchung des Rapertes, so ergibt sich: Ein grosses Ladungsgewicht, ein kleines Rohrgewicht und ein grosses Rapertgewicht sind nachtheilig, umgekehrt ist ein kleines Ladungs- und Rapertgewicht bei grossem Rohrgewicht von Vortheil. — Was den Einfluss einer bestimmten Elevation anbelangt, so ist derselbe um so grösser, je grösser das Verhältniss $\frac{\mu}{\mu'}$ ist, wie aus $N = \frac{1 + (1 - \nu^2)\frac{\mu}{\mu'}}{1 + \frac{\mu}{\mu'}}$ hervorgeht;

für beträchtliche Werthe von $\frac{\mu}{\mu'}$, wie sie bei den Schiffsraperten überhaupt, insbesondere bei Schlittenraperten vorkommen, könnte nur für ganz kleine Elevationswinkel $\nu = 1$ gesetzt, d. h. die Elevation unberücksichtigt gelassen werden.

Im obigen Beispiel des 15 cm Geschützes ist die lebendige Kraft der Ladung beim Geschossaustritte $\frac{4 \cdot 408}{2} \cdot 250000 = 551000$ kg m, das Verhältniss zwischen dem Ladungs- und Rohrgewichte $\frac{4 \cdot 408}{408} = 0 \cdot 0108$, daher die mögliche Maximalbeanspruchung des Rapertes $S = 5950$ kg m, — diese wäre bei Elevationen über 82^0 vorhanden; für die horizontale Rohrlage ($\alpha = 0$) ist $N = \frac{102}{102 + 408} = 0 \cdot 2$, daher die Minimalbeanspruchung $NS = 1190$ kg m; für $\alpha = 10^0$ ist $N = \frac{102 + 30}{510} =$ $= 0 \cdot 259$, die Beanspruchung $NS = 1540$ kg m.

Einen gewissen Einfluss auf die Beanspruchung des Rapertes hat auch die Zeit τ, welche die vom Rohre auf das Rapert übergehenden Bewegungsimpulse zur Fortpflanzung im ganzen Raperte benöthigen, besonders wenn man das Verhältniss dieser Zeit zur Zeit T, während welcher der Uebergang aller Impulse stattfindet, ins Auge fasst. Je grösser die Zeit τ, desto länger dauert der ungleichmässige Bewegungszustand der verschiedenen Theile der Rapertwände, desto mehr wird die Schildpfannenpartie dem Rapertschwanze genähert, daher die Wand zusammengedrückt; das Mass dieser Zusammendrückung muss um so grösser sein, je rascher die Bewegung der Schildpfannenpartie anwächst, je kleiner die Zeit T ist. Wie klein auch die Zeit τ sein mag, so ist sie doch im Vergleich zur Zeit T, welche ebenfalls sehr klein ist,* nicht ohne Bedeutung; mindestens

* Im obigen Beispiele ist die Zeit der Geschossbewegung, während welcher der grösste Theil der Bewegungsimpulse (abgesehen von der Nachwirkung des Stossbodendruckes) auf das Rapert übergeht, 0·009 Secunden.

ist sie im Stande, bei vollkommener Gleichheit aller anderen Factoren einen Unterschied in der Grösse der Beanspruchung zweier Raperte zu begründen. Diese Zeit hängt von dem Material, der Form und den Dimensionen, hauptsächlich von der Länge der Rapertwände ab; hieraus folgt im Wesentlichen: Raperte aus verschiedenem Material erleiden unter übrigens gleichen Umständen verschieden grosse Beanspruchungen, und längere Raperte leiden durch den Rückstoss mehr als kürzere.

Hinsichtlich der Art und Weise, in welcher die Festigkeit des Rapertes (der Rapertwände) in Anspruch genommen wird, ergibt sich Folgendes:

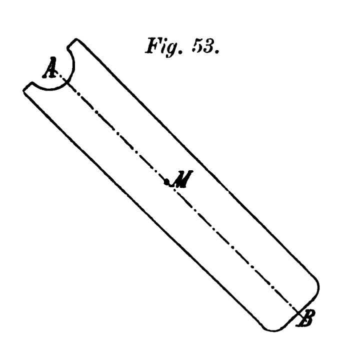


Fig. 53.

Hätte die Rapertwand die in *Fig. 53* dargestellte Form einer Stütze (Strebe), deren Mittellinie AB zur Rohraxe parallel, daher genau in der Richtung des Rückstosses läuft, so würde ein blosses Zusammenpressen, eine Verkürzung derselben stattfinden; das Mass dieser Verkürzung wäre bei A, an den Schildpfannen, am grössten und würde gegen B zu abnehmen. Bezeichnet man die Zusammendrückung der Längeneinheit in einem von A um $AM = x$ entfernten Punkte M mit δx, so ist die wirkliche Verkürzung der elementaren Schichte $\delta x \cdot dx$ und die Verkürzung der ganzen Wand $\int_0^l \delta x \cdot dx$, wenn $AB = l$ gesetzt wird; nennt man ferner die Verkürzung der Längeneinheit in A $\delta(o)$ und nimmt eine gleichmässige Abnahme der Verkürzungen von A bis B an, so ist $\delta x = \delta(o)\left(1 - \frac{x}{l}\right)$, daher $\int_0^l \delta x \cdot dx = \delta(o) \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx = $ $= \frac{1}{2} l \cdot \delta(o)$. Ist e die Belastung auf die Flächeneinheit, welche die relative Verkürzung $\delta(o)$ hervorzubringen geeignet ist, daher wenn a die Dicke, b die Breite der Wand bezeichnet, abe die der Verkürzung $\delta(o)$ entsprechende Belastung des Querschnittes, so ist $\frac{1}{2} l\delta(o) abe$ die Arbeit dieser Belastung bei der Verkürzung der ganzen Wand, welche, wenn E den Elasticitätsmodul des Materials bezeichnet, da (innerhalb der Elasticitätsgrenze) $\delta(o) = \frac{e}{E}$ ist, in $\frac{1}{2} lab \frac{e^2}{E}$ übergeht, wofür $\frac{1}{2} A \frac{e^2}{E}$ gesetzt werden kann, wo $A = abl$ das Volumen der Wand bedeutet.

Die Grösse $\frac{1}{2} A \frac{e^2}{E}$ bedeutet die Arbeit des wachgerufenen elastischen Widersandes in jeder Wand, daher $A \frac{e^2}{E}$ diese Arbeit in beiden Wänden; es besteht demnach die Gleichung $S_2 = A \frac{e^2}{E}$. Damit die Ausdauer der Rapertwände sichergestellt sei, darf e die zulässige Belastung des Materials derselben nicht überschreiten.

Bezeichnet G das Gewicht des Rapertes, c_1 einen von der Festigkeit desselben gegen Druck abhängigen Coëfficienten, so wäre allgemein für ein in der oben angeführten Weise durch den Rückstoss in Anspruch genommenes Rapert $S_2 = c_1 G$.

Würde hingegen der Stoss auf eine Wand von obiger Form nicht in der Richtung AB, sondern senkrecht darauf erfolgen, so würde dieselbe nicht auf Verkürzung, sondern auf Biegung in Anspruch genommen, und es wäre $S_2 = c_2 G$ zu setzen, wo c_2 einen von der relativen Festigkeit des Materials abhängigen Coëfficienten bedeutet, welcher bedeutend kleiner als c_1 ist. Der Form der Raperte und der, übrigens mit dem Elevationswinkel wechselnden, Richtung des Rückstosses nach kommt weder die eine noch die andere Art der Beanspruchung ausschliesslich zur Geltung, sondern beide zugleich; man wird also allgemein $S_2 = c_3 G$ zu setzen haben, worin c_3 einen Coëfficienten bedeutet, der von der Güte des Materials und davon abhängt, welcher Theil der als totale Beanspruchung des Rapertes entfallenden lebendigen Kraft des Rückstosses auf Verkürzung (eventuell Verlängerung) und welcher Theil auf Verbiegung der Wände aufgewendet wird. Im Allgemeinen wird die Verkürzung vorwiegen, die Verbiegung wird nur dort von Bedeutung sein, wo der Unterschied zwischen dem Laffeten- und dem Elevationswinkel ein beträchtlicher ist, also bei Raperten mit grossen Laffetenwinkeln, wenn mit kleiner Elevation oder mit Depression gefeuert wird. Wird schliesslich $S_2 = \gamma \left(\frac{1}{2} m_1 V^2\right)$, worin γ den als Beanspruchung des Rapertes entfallenden Theil der lebendigen Kraft der Ladung an der Mündung bezeichnet, und $\frac{c_3}{\gamma} = c$ gesetzt, so ist in der allgemeinsten Fassung die Beanspruchung des Rapertes durch $\frac{1}{2} m V^2 = cG$ ausgedrückt; c bedeutet dann die Beanspruchung der Gewichtseinheit des Rapertes und hängt vom Geschoss-, Ladungs-, Rohr- und Rapertgewichte, von der Elevation, von der Form und sonstigen Construction des Rapertes, welche sein specielles Verhalten beim Rücklaufe bedingt, ab.

c) Verhalten der verschiedenen Rapertgattungen beim Rückstosse.

1.) Als Normalrapert der Marinegeschütze kann das **Schlittenrapert** angesehen werden. Das Rapert (Obertheil) hat ein im Verhältnisse zum Rohre kleines Gewicht und eine geringe Länge; es wird sich demnach rasch in Bewegung setzen und eine grosse Geschwindigkeit erreichen, — beides Momente, welche auf eine Verminderung der Beanspruchung hinwirken, daher diese verhältnissmässig nicht bedeutend sein wird. Dagegen erfordert die grosse Rücklaufgeschwindigkeit zur Beschränkung der Rücklaufweite einen starken Bremsdruck, welcher in anderer Weise nachtheilig wirkt.

Die Bremse wird nämlich in der Regel mit einem, wenn auch geringen, Spielraume in das Rapert eingesetzt sein, überdies sind die Theile derselben selbst elastisch, so dass die Bremse nicht mit den mit ihr verbundenen Raperttheilen gleichzeitig die Bewegung beginnen wird. Dies wird in dem Momente, in welchem die Bewegung auf die Bremse übergeht, eine von einem Stosse begleitete plötzliche Hemmung der nächsten Raperttheile verursachen. Diese Hemmung pflanzt sich bis zu den Schildpfannen fort, welche dieselbe als Verzögerung ihrer Bewegung später erfahren, nämlich zu einer Zeit, wenn die mit der Bremse verbundenen Raperttheile die Hemmung bereits überwunden haben; diese werden sich demnach jetzt relativ schneller bewegen als die Schildpfannen. Die Verzögerung der Schildpfannen pflanzt sich als solche im Raperte fort und gelangt abermals bis zu der Bremse, wo sie eine neue schwächere Hemmung erzeugt, welche wieder auf die Schildpfannen zurückwirkt, u. s. f. Dieses oscillirende Uebergehen der relativ schnelleren Bewegung von den Schildpfannen an die der Hemmung durch die Bremse unmittelbar ausgesetzten Raperttheile bringt Erschütterungen des Rapertes hervor, welche für die Ausdauer und das Gefüge desselben von wesentlichem Nachtheile sind.

Vermöge der geringen Länge des Rapertes ist der Laffetenwinkel ein ziemlich grosser, so dass selbst bei den grössten Elevationen das Rapert eine Tendenz zum Aufspringen zeigen wird. Gegen das Aufspringen sind bei Schlittenraperten bekanntlich Führungswinkel angebracht, welche unter die Flanschen der Schlittentragbalken greifen. Diese Winkel müssen einen Spielraum gegen die Flansche zu haben, damit das Rapert auf die Excenterrollen gestellt und leichter aus- und eingeholt werden kann; somit ist das Auf-

springen des Rapertvordertheiles nicht ganz ausgeschlossen. Wenn nun infolge desselben der Führungswinkel an die Flansche gelangt, so geschieht ein heftiger Stoss, wobei auch der Schlitten nach aufwärts gerissen wird; die elastische Rückwirkung der Flansche schnellt jedoch den Winkel, und somit das ganze Geschütz, gegen abwärts, bis wieder das Drehmoment das Rapertvordertheil nach aufwärts reisst, u. s. f. Diese Folge von Aufspringen und Niederfallen des Geschützes erzeugt Erschütterungen, welche häufig noch stärker und gefährlicher sind, als die aus der plötzlichen Hemmung durch die Bremse hervorgehenden.*

Bei grösserer Elevation vermindert sich allerdings das Aufspringen und die durch dasselbe erzeugte Erschütterung; dagegen wächst der Druck gegen die Unterlage (den Schlitten), welcher den elastischen Gegendruck derselben hervorruft. Hiedurch entstehen Vibrationen in dem ganzen Laffetensistem, welche um so stärker sind, je länger der Schlitten ist und je weiter die Unterstützungspunkte desselben von einander abstehen.

2.) Das **Halbschlittenrapert** ist im Wesentlichen von derselben Construction wie das Ganzschlittenrapert, das Verhalten desselben wird also von jenem des letzteren im Allgemeinen nicht abweichen, nachdem die Einwirkungen auf das Rapert hauptsächlich erfolgen, solange sich dieses noch ganz auf dem Schlitten befindet; wenn das Rapert vom Schlitten gleitet und mit der Walze auf Deck gelangt, wird der Laffetenwinkel ein grösserer und infolge dessen das Aufspringen heftiger.

3.) Das **Radrapert** wird, wegen des Mangels einer Bremse und der geringeren Reibung,** sich leichter bewegen, daher eine verhältnissmässig geringere Beanspruchung erleiden als das Schlittenrapert; hingegen wird das Radrapert am Ende des Rücklaufes infolge der plötzlichen Hemmung durch den Brohk und des dadurch bedingten Aufspringens des Hintertheiles eine sehr heftige Erschütterung erfahren, insbesondere wird die Richtmaschine bei diesem Aufspringen stark leiden.

---

* Um diese Erschütterungen möglichst klein zu machen, rundet man den Vordertheil der Rapertwände unten ab und setzt die Führungswinkel so nahe als möglich an den vorderen Drehpunkt, wodurch die Grösse des nöthigen Spielraumes auf ein Minimum reducirt wird.

** Hier ist vom eventuellen Unterschied im Material der Raperte (Holz gegen Eisen) abgesehen und nur die Art der Reibung (Zapfenreibung gegen gleitende Reibung) ins Auge gefasst.

4.) Die **Landungslaffete** hat ein im Verhältniss zum Rohre sehr grosses Gewicht und eine beträchtliche Länge, die Beanspruchung derselben wird also verhältnissmässig bedeutend grösser sein als bei Schiffsraperten; die Beanspruchung wird durch die starke Reibung des Protzstockes auf dem Erdboden, welche den Rücklauf desselben gegenüber der Bewegung der Schildpfannenpartie verzögert, noch mehr verstärkt. Ferner repräsentiren die schweren Räder, besonders nachdem sie sich anfänglich schleifend am Boden bewegen werden, ein starkes Hemmittel, welches in erster Linie auf ein Aufreissen der Axlager der Laffetenwände wirkt, sodann aber, in derselben Weise wie die Bremse bei einem Schlittenrapert, Oscillationen in der Bewegung und Erschütterungen erzeugt, die durch abwechselndes Biegen und Strecken der langen Axe* noch vermehrt werden.

Die vorangeführten vier Rapertgattungen haben das Gemeinschaftliche, dass sich der Rückstoss wesentlich in einem wirklichen Rücklauf, d. h. in einer Bewegung parallel zur Unterlage äussert und die Rückdrehung, das Aufspringen, als eine secundäre Erscheinung auftritt; ferner ist der Laffetenwinkel, obwol bei manchen Raperten nicht unbedeutend, dennoch genügend klein, um im Allgemeinen das Zusammenpressen der Wand als hauptsächliche Art der Beanspruchung betrachten zu können. Zur Beurtheilung über die Beanspruchungsverhältnisse des Rapertes bei den einzelnen Kalibern der Marinegeschütze mögen die in nachstehender Tabelle angeführten Daten dienen. γ_0 bedeutet den Antheil der lebendigen Kraft der Ladung an der Mündung, welcher als Beanspruchung des Rapertes entfällt, wenn der Elevationswinkel $\alpha = 0$ ist und wenn von dem Einflusse der Zeit τ auf die Beanspruchung abgesehen wird. Wie diese Tabelle zeigt, steht die Landungslaffete unter den weitaus ungünstigsten Bedingungen, um so mehr, als die Wände wegen ihrer beträchtlichen Länge nicht auf Zerdrücken, sondern auf Zerknicken in Anspruch genommen werden.

---

* Dem bleibenden Ausbiegen der Axe wird durch die Mitnehmer vorgebeugt, welche überdies die elastischen Schwankungen der Axe gegen die Mitte der Laffetenwände fortpflanzen, daher die Erschütterungen mehr vertheilen.

Geschützkaliber	Gewicht der Ladung (Geschoss sammt Pulverladung) $(m+m')g$	Gewicht des Rohres μg	Gewicht des Rapertes $\mu' g$	$\frac{m+m'}{\mu}$	$\frac{\mu}{\mu'}$	$\gamma_0 = \frac{1}{1+\frac{\mu}{\mu'}} \cdot \frac{m+m'}{\mu}$	Laffetenwinkel β	Anmerkung
	Kilogramm							
28 c/m	308·0	27500	3530	0·0112	7·78	0·00127	31°	In der Rubrik: Gewicht der Ladung bedeutet: H. Hartgranate, Shr. Shrapnel, die übrigen eingeführten Geschosse sind Stahlgranaten. In der Rubrik: Gewicht des Rapertes bezeichnet: Dr. Drehgeschütz-, Br. Breitseit-, L. Langschlitten-, H. Halbschlitten-, Sch. Schlitten-, R. Radrapert. Wo zwei Laffetenwinkel vorkommen, dort bezieht sich der kleinere auf die Verbindung der Schildpfannenaxe mit der hintersten unteren Kante der Rapertwand und ist für die Beurtheilung der Beanspruchungsart (Verkürzung oder Verbiegung) der Wand massgebend; der grössere Winkel bedeutet die Verbindung der Schildpfannenmitte mit dem hinteren Aufliegepunkt (Walze, Rad, Schleifriegel) des Rapertes und ist für das Aufspringen massgebend.
26 c/m	211·5	22000	279[illegible]	0·0096	7·88	0·00108	31°	
24 c/m I. Kl.	156·5	14860	2230	0·0105	6·66	0·00137	30°	
24 c/m II. Kl.	H. 164	14750	Dr. 2310 Br. 2640	0·0111	6·38 5·58	0·00150 0·00169	20° 23°	
23 c/m	H. 139	12700	1900	0·0109	6·68	0·00142	28°	
21 c/m	110·7	8820	1395	0·0125	6·32	0·00171	37½°	
18 c/m	H. 66·4	6600	1340	0·0101	4·92	0·00171	37½°	
g. st. 15 c/m	41·75	4000	L. 850 H. 1050	0·0104	4·70 3·80	0·00183 0·00216	27½° 20° (37°)	
bronc. 15 c/m	48·5	3400	L. 850 H. 1050	0·0143	4·00 3·24	0·00286 0·00337	27½° 21° (37°)	
g. eis. 15 c/m	Shr. 32·95	2860	Sch. 475 R. 460	0·0115	6·00 6·22	0·00164 0·00159	19½° (28°) 25° (45°)	
12 c/m	Shr. 17·35	1490	325	0·0116	4·59	0·00208	23½° (38½°)	
7 c/m	Shr. 3·47	90	146	0·0385	0·616	0·02382	33½°	

5.) Bei den **Depressionslaffeten** äussert sich der Rückstoss ausschliesslich in der Rückdrehung um den Charnierbolzen der Streben, wodurch sich diese Rapertgattung von allen übrigen wesentlich unterscheidet. Für den als Beanspruchung entfallenden Theil der lebendigen Kraft des Geschosses ist ausser den für alle Raperte angeführten Factoren (Geschoss-, Ladungs-, Rohr- und Rapertgewicht,* Elevationswinkel), ferner noch das Trägheitsmoment des Rohres und Rapertes, sowie die Entfernung der Schildzapfen von der Drehaxe und der Laffetenwinkel massgebend. Bezeichnet man mit $\mathfrak{M}$ das Trägheitsmoment von Rohr und Rapert in Bezug auf die Drehaxe, $\mathfrak{Z}$ die Ent-

* Unter »Rapert« stets nur die an der Bewegung theilnehmenden Theile verstanden.

fernung der letzteren von einem Punkte, in welchem man sich die Masse des Geschützes während der Drehung vereinigt denkt, W die grösste Drehungsgeschwindigkeit dieses Punktes, ω die Winkelgeschwindigkeit der Drehung eines Punktes im Abstande $= 1$ von der Drehaxe, so ist $\mathfrak{M} = (\mu + \mu')\mathfrak{J}^2$, $W = \mathfrak{J}\omega$, die lebendige Kraft der Drehung $S_1 = \frac{1}{2}(\mu + \mu') W^2 = \frac{1}{2}\mathfrak{M}\omega^2$; ferner ist $\mathfrak{M}\frac{d\omega}{\delta t} = P_1 a \sin(\beta - \alpha)$, wo a die Entfernung der Schildpfannenmitte von der Drehaxe bezeichnet, daher $\mathfrak{M}\omega = a \sin(\beta - \alpha)\int_0^T P_1 dt$, und da $\int_0^T P_1 dt = \mu U = nm_1 V$ ist, so folgt $\mathfrak{M}\omega = (\mu + \mu')W\mathfrak{J} = a \sin(\beta - \alpha)\mu U = a \sin(\beta - \alpha) nm_1 V$.

$$W = n\frac{m_1}{\mu + \mu'} \cdot \frac{a \sin(\beta - \alpha)}{\mathfrak{J}} V.$$

Setzt man $\frac{a \sin(\beta - \alpha)}{\mathfrak{J}} = \nu$, so ist wie oben

$$W = \frac{m_1}{\mu + \mu'} n\nu V, \quad S_1 = n^2 \frac{\nu^2 m_1}{\mu + \mu'}\left(\tfrac{1}{2} m \cdot V^2\right), \quad S_2 = n^2 \frac{\mu + \mu(1 - \nu^2)}{\mu + \mu'} \cdot \frac{m'}{\mu}\left(\tfrac{1}{2} m_1 V^2\right)$$

nur dass hier ν einen von a, β und $\mathfrak{J}$ (oder $\mathfrak{M}$) abhängigen Werth hat. Bei diesen Raperten kommt wegen der einfachen Form der Rapertwände (Streben) die Art der Beanspruchung des Rapertes und die Abhängigkeit derselben vom Elevations- und Laffetenwinkel am klarsten zur Anschauung: der Umfang der Elevationen, von der grössten Elevation bis zur grössten Depression, ist so gross, dass sowol (bei grossen Elevationen) ein Ueberwiegen der Beanspruchung auf Zerknicken, als auch (bei grossen Depressionen) ein Ueberwiegen der Beanspruchung auf Verbiegen der Wände stattfinden kann.

Bei der 7 %m Laffete ist $\beta = 50^\circ$, die grösste Elevation beträgt 18°, die grösste Depression 30°, daher $\beta - \alpha = 32^\circ$, beziehungsweise $= 80^\circ$.

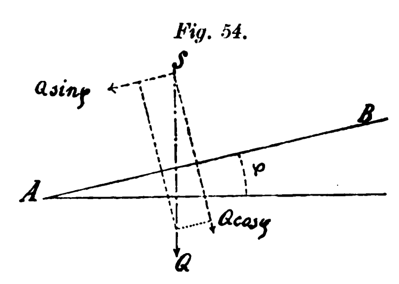
d) Mittel zum Hemmen des Rücklaufes.

Von den mannigfachen Mitteln, den Rücklauf des Geschützes auf ein bestimmtes Mass zu beschränken, als Taue (Brohks) oder ähnliche Mittel zur directen momentanen Hemmung des Geschützes in bestimmter Entfernung, — Stossballen (Federn, Kautschuk-, Holzpuffer), welche durch ihren elastischen Widerstand das anstossende Geschütz zum Stillstande bringen, — starke Gewichte, welche vom Geschütze beim Rücklaufe oder bei der Rückdrehung gehoben werden

müssen (Gegengewichtslaffeten), — die nach rückwärts ansteigende Neigung der Unterlage, — die Reibungs- und die hydraulischen Bremsen etc. — sollen nur die drei letzten als die gebräuchlichsten hinsichtlich ihrer Wirkungsweise näher in Betracht gezogen werden.

1.) **Neigung der Unterlage.** Ist in *Fig. 54* S der Schwerpunkt des Geschützes, Q sein Gewicht, φ der Neigungswinkel der Unterlage, zerlegt man ferner die Kraft Q in die Componenten $Q \cos \varphi$ normal zur Unterlage und $Q \sin \varphi$ in der Richtung der Bewegung, so wirkt während des Rücklaufes

Fig. 54.



$$K' = Q \sin \varphi + Q f \cos \varphi = Q(\sin \varphi + f \cos \varphi)$$

als Widerstand. Da diese Kraft constant ist, so beträgt die Arbeit derselben während des Rücklaufes von der Länge λ: $Q\lambda(\sin \varphi + f \cos \varphi)$.

Wenn auf das in Bewegung begriffene Geschütz kein anderes Hemmittel wirkt, so muss $Q\lambda(\sin \varphi + f \cos \varphi) = \frac{1}{2} M W^2 = \frac{Q}{2g} W^2$ sein, woraus sich bei gegebenen β und W für die Rücklauflänge $\lambda = \frac{W^2}{2g} \cdot \frac{1}{\sin \varphi + f \cos \varphi}$, oder wenn die Geschwindigkeitshöhe der anfänglichen Rücklaufgeschwindigkeit $\frac{W^2}{2g} = H$ gesetzt wird, $\lambda = \frac{H}{\sin \varphi + f \cos \varphi}$ ergibt; diese Grösse ist vom Geschützgewicht unabhängig, gilt daher für alle Geschütze, welche dieselbe Neigung der Unterlage und dieselbe Rücklaufgeschwindigkeit haben. Umgekehrt findet man den Winkel β der Neigung, welche der Unterlage gegeben werden muss, damit der Rücklauf auf die Länge λ beschränkt wird, aus

$$\sin \varphi = \frac{H - f\sqrt{\lambda^2(1+f^2) - H^2}}{\lambda(1+f^2)}.$$

Die letzte Formel gibt nur einen reellen Werth, wenn $\lambda^2(1+f^2) > H^2$, oder nachdem f^2 sehr klein ist, wenn $\lambda > H$ ist, d. h. wenn der Rücklauf durch die blosse Neigung der Unterlage gehemmt wird, so kann dies nur in einer Entfernung geschehen, welche grösser ist, als die Geschwindigkeitshöhe der anfänglichen Rücklaufgeschwindigkeit.

Beispiel. Es sei $W = 4\,^{m}/_{s}$, $\varphi = 5^0$, $f = 0{\cdot}14$; man findet zunächst $H = 0{\cdot}8163\,^{m}/_{s}$ und ferner $\lambda = 3{\cdot}6\,^{m}/_{s}$. — Wollte man den Rücklauf auf $2\,^{m}/_{s}$ beschränken, so würde hiezu eine Neigung der Unterlage von nahezu 16^0 nothwendig sein. — Wie aus diesem Beispiel ersichtlich, ist die Neigung, die man der Unterlage in der Praxis geben kann, für sich allein ungenügend, den Rücklauf auf ein praktisch zulässiges Mass zu beschränken; sie kann aber die Wirkung anderer Mittel, z. B. der Bremsen, sehr wesentlich unterstützen und wird auch grösstentheils in dieser Absicht angewendet, um einen Theil der lebendigen Kraft des Rücklaufes aufzuzehren. So würde eine Neigung von 5^0 bei einer Rücklauflänge von $2\,^{m}/_{s}$ eine lebendige Kraft von $0{\cdot}4534Q$ aufzehren, und es bliebe bei einer Geschwindigkeit von $4\,^{m}/_{s}$ für die Bremse nur noch die lebendige Kraft von $0{\cdot}3629Q$ aufzuheben.

Hätte die Unterlage eine Neigung nach abwärts, statt nach aufwärts, so wäre φ negativ, daher $K' = Q(f\cos\varphi - \sin\varphi)$ zu setzen; die Reibung würde auch hier im Sinne der Verzögerung, die Gewichtscomponente $Q \sin\varphi$ aber im Sinne der Beförderung des Rücklaufes wirken. Für $\varphi = 0$, horizontale Unterlage, ist $K = Qf$; die Neigung der Unterlage vermindert demnach die Reibung des Geschützes, erzeugt aber eine Kraftcomponente, welche entweder verzögernd oder beschleunigend auf den Rücklauf wirkt.

2.) **Reibungsbremsen.** Werden zwei Theile der Laffetirung, wovon der eine dem Rapert selbst, der andere der Unterlage (dem Schlitten) angehört, durch einen Druck q aneinander gepresst, so ist die dadurch erzeugte Reibung qf. Denkt man sich den Bremstheil des Schlittens b_1 *(Fig. 55)* durch zwei Bremstheile des Rapertes $a_1 a_2$ beiderseits umfasst und diese mit der Kraft q gegen denselben gedrückt, so entsteht eine zweiseitige Reibung; der Betrag jeder einzelnen ist qf, daher jener der ganzen Reibung $2qf$. Wird die Zahl der Bremstheile des Schlittens, der Schienen, auf c, die Zahl der Bremstheile des Rapertes, der Lamellen, auf $c + 1$ gebracht und das ganze Sistem durch die Kraft q zusammengepresst, so entsteht zwischen $2c$ Flächen Reibung, deren Totalbetrag, der ganze Widerstand der Bremse, $B = 2cqf$ ist. Diese Kraft ist constant, daher die Arbeit derselben $2cqf\lambda$; wenn ausserdem die Neigung der Unterlage zur Wirkung kommt, so besteht für den Rücklauf die Bewegungsgleichung

Fig. 55.

$$2cqf\lambda + Q(f\cos\beta \pm \sin\beta)\lambda = \tfrac{1}{2} MW^2;$$

für die horizontale Unterlage

$$(2cq + Q)f\lambda = \tfrac{1}{2} MW^2.$$

Die Formel $B = 2cqf$ entspricht der Voraussetzung, dass zwischen den Schienen und Lamellen überall ein und derselbe Druck q herrscht, was nicht streng richtig ist. Wird nämlich auf die erste Lamelle a_1 ein bestimmter Druck ausgeübt, so bewegt sich diese zunächst gegen die Schiene b_1 und verschiebt diese und durch Vermittlung derselben alle folgenden Lamellen und Schienen gegen die letzte Lamelle a_{c+1}, welche als unverrückbare Widerlage vorausgesetzt wird; infolge des Widerstandes, welchen die Lamellen und Schienen der Verschiebung entgegensetzen, wird die von einer Anliegefläche zur nächsten mitgetheilte Pressung immer mehr geschwächt, so dass dieselbe als von der ersten, der äusseren Druckkraft unmittelbar ausgesetzten Lamelle gegen die Widerlage hin abnehmend gedacht werden muss. Um die Pressungen mehr auszugleichen, lässt man in der Regel die äussere Druckkraft von beiden Seiten, nämlich sowol gegen a_1 als gegen a_{c+1}, wirken; in diesem Falle nimmt die Pressung gegen die Mitte zu ab. Eine noch grössere Gleichförmigkeit der Pressungen wird erzielt, wenn das ganze Sistem von Schienen und Lamellen in zwei oder mehrere von einander unabhängige Gruppen mit eigenen Druckvorrichtungen getheilt wird. — Die Wirkungsweise der Bremse erleidet keine Aenderung, wenn die Zahl der Schienen (Schlittenbremstheile) $c + 1$, die Zahl der Lamellen (Rapertbremstheile) c ist; der Druck wirkt dann auf die beiden äusseren Schienen.

Zur Erzeugung des Druckes q, welcher die Schienen und Lamellen zusammenpresst, wird grösstentheils eine Schraube angewendet, welche entweder direct oder durch Vermittlung eines (eventuell mehrerer) Hebel auf die Bremstheile wirkt; die Drehung der Bremsschraube geschieht durch einen Hebel, den Bremshebel,* durch eine Handhabe, welche mit einem an der Schraubenwelle sitzenden Stellrad verbunden ist,** etc. Bezeichnet q' die auf den Bremshebel ausgeübte Kraft, $\varDelta$ den Hebelarm derselben, nämlich die Entfernung des Angriffspunktes am Bremshebel von der Schraubenaxe, q_1 den Druck in der Richtung der Schraubenaxe, ϱ den mittleren Radius, δ die Ganghöhe der Schrauben, so bestimmt sich das Verhältniss von q' zu q_1 auf folgende Weise: Um den Druck q_1 in der Schraubenaxe hervorzubringen, muss am Umfange $2\varrho\pi$ derselben eine zur Axe parallele Kraft $\varkappa$ wirken, deren Betrag aus $2\varrho\pi\varkappa = \delta q_1$ (Keilgleichung) mit $\varkappa = q_1 \dfrac{\delta}{2\varrho\pi}$, und bei Berücksichtigung der Reibung in den Gewinden mit $\varkappa = q_1 \dfrac{\frac{\delta}{2\varrho\pi} + f}{1 - f\frac{\delta}{2\varrho\pi}} = q_1 \dfrac{\delta + 2f\varrho\pi}{2\varrho\pi - f\delta}$ folgt; nachdem $q'\varDelta = \varkappa\varrho = q_1\varrho \dfrac{\delta + 2f\varrho\pi}{2\varrho\pi - f\delta}$ ist, so ergibt sich $q_1 = q' \dfrac{\varDelta}{\varrho} \cdot \dfrac{2\varrho\pi - f\delta}{\delta + 2f\varrho\pi}$.

* Fergusson'sche, Ericson'sche Bremse.

** Scott'sche Bremse.

Wirkt die Schraube direct auf die äusserste Lamelle, so ist $q = q_1$, daher $B = 2cq' \frac{\Delta}{\varrho} f \cdot \frac{2\varrho\pi - f\delta}{\delta + 2f\varrho\pi}$: geschieht hingegen die Uebertragung des Schraubendruckes auf die Lamelle mittelst eines zweiarmigen Hebels (Ericson'sche Bremse), dessen Arme die Länge s_1 (Schraubenarm) und s_2 (Lamellenarm) haben, so ist $qs_2 = q_1 s_1$, somit $q = \frac{s_1}{s_2} q_1$ und

$$B = 2cq' \frac{\Delta}{\varrho} \frac{s_1}{s_2} f \cdot \frac{2\varrho\pi - f\delta}{\delta + 2f\varrho\pi}.$$

Nachdem die Drehung des Bremshebels eine successive sich steigernde Annäherung der Schienen und Lamellen bewirkt, so muss die am Bremshebel wirkende Kraft ebenfalls eine zunehmende sein; die Kraft q', welche dem bleibenden Druck q zwischen den Bremstheilen entspricht, bedeutet den zu Ende der Drehung des Hebels aufgewendeten Druck. — Durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Kraft q' kann der Widerstand der Bremse regulirt werden. Hiezu gibt es zwei Wege, da die Kraft q' von dem Masse der Annäherung, in welchem sich die Bremstheile vor Beginn der Drehung des Bremshebels (bei offener Bremse) befinden, und von dem Masse der Drehung des Hebels selbst abhängt; die einfachste Art der Verstärkung der Bremsung besteht in einer weiteren Drehung des Bremshebels (Scott'sche Bremse), — ist jedoch das Mass der Drehung des Hebels ein bestimmtes (wie bei der Ericson'schen Bremse), so muss zur Verstärkung der Bremsung das Mass der Annäherung der Bremstheile bei offener Bremse vergrössert werden.

Um bei einer bestimmten Kraft q', welche der Leistungsfähigkeit eines Mannes entspricht, den zum Hemmen des Rücklaufes erforderlichen Bremsdruck hervorzubringen, stehen beliebig viele Variationen der Grössen c, Δ, ϱ, δ, s_1 und s_2 zu Gebote, wobei, wie die Gleichung zeigt, die Vergrösserung von c (Schienenzahl), Δ (Bremshebellänge) und s_1 (oberer Arm der Bremsbacke) eine Verstärkung, die Vergrösserung von ϱ und δ (Radius und Ganghöhe der Schraube), sowie von s_2 (unterer Arm der Bremsbacke) aber eine Verminderung des Bremsdruckes zur Folge hat. Sind ϱ, δ, s_1 und s_2 (Construction der Schraube und Bremsbacke) unabänderlich festgesetzt, so kann durch Vergrösserung von c (Vermehrung der Bremsschienen) oder Δ (Verlängerung des Bremshebels) eine Verstärkung der Bremse stattfinden. — Es wäre noch zu bemerken, dass die Reibung der Bremswelle in ihren Lagern, sowie jene der Bremsbacken an ihrem Bolzen, einen Theil der aufgewendeten Kraft absorbirt, was berücksichtigt werden muss.

3.) Die **hydraulische Bremse** wirkt dadurch verzögernd auf das Geschütz, dass die in den Bremscylinder eingebrachte Flüssigkeit durch den mit derselben Geschwindigkeit wie das Geschütz (w) sich bewegenden Kolben stark gepresst wird und nur durch enge Kanäle aus dem Cylinder in ein Nebengefäss (Reservoir) oder von einer Seite des Kolbens auf die andere abströmen kann. Die Geschwin-

digkeit w_1, mit welcher dieses Abströmen stattfindet, ist, wenn von der Reibung der Flüssigkeit an den Wänden der Kanäle abgesehen wird. von dem Drucke des Kolbens gegen die Flüssigkeit (dem Bremsdrucke B), von der Stossfläche des Kolbens F* und der Querschnittsfläche F_1 der Kanäle abhängig. Bezeichnet man die Widerstandshöhe, d. i. diejenige Höhe der Flüssigkeitssäule, welche durch ihren verticalen Druck das Ausströmen mit derselben Geschwindigkeit w_1 bewirken würde, als dies durch den Druck B geschieht, mit H_1, die Dichte (das Gewicht der Volumseinheit) der Flüssigkeit mit δ, so ist $B = FH_1\delta$ und $w_1 = \sqrt{\frac{2GH_1}{1-\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2}}$, oder wenn F_1 gegen F so klein ist, dass hier $\frac{F_1}{F} = 0$ gesetzt werden kann, $w_1 = \sqrt{2GH_1}$, woraus $H_1 = \frac{w_1^2}{2G}$ und $B = F\delta\frac{w_1^2}{2G}$ folgt. Zur Bestimmung von w_1 besteht die Gleichung $w_1 F_1 = wF$,** mit welcher sich $B = \frac{F^3}{F_1^2}\delta\frac{w^2}{2G}$ ergibt. Diese Kraft ist im Allgemeinen von der veränderlichen Geschwindigkeit w des Rücklaufes abhängig, also variabel, und kann, insofern F und E_1 constant sind, $B = B'w$ gesetzt werden, wo B' eine constante Grösse bezeichnet. Wirkt ausserdem ein anderer Widerstand auf die Verzögerung des Geschützes, wie beispielsweise der aus der Neigung des Schlittens oder der blossen Reibung bei horizontaler Unterlage hervorgehende, dessen Kraft constant und $= K$ ist, so ist der gesammte Widerstand $B + K$, und es besteht für den Rücklauf die Bewegungsgleichung

$$(B'w^2 + K)dy = -Mwdw \text{ oder } dy = -M\frac{wdw}{B'w^2 + K};$$

durch Integration erhält man $\lambda = \frac{M}{2B'}Lg\frac{B'W^2 + K}{K}$ als Länge des Rücklaufes. Wäre der Bremsdruck während des ganzen Rücklaufes constant, nämlich $B = B'W^2$, so würde sich $(B + K)\lambda = \frac{1}{2}Mw^2$ und hieraus $\lambda = \frac{MW^2}{2(B+K)}$ ergeben.

---

* Hierunter ist die Kolbenfläche, vermindert um den Querschnitt der Kolbenstange, wenn diese durch die Flüssigkeit läuft, zu verstehen.

** Gleichheit des vom Kolben verdrängten und des abströmenden Flüssigkeitsvolumens.

Sind die Kanäle mit Ventilen versehen (**Ventilbremsen**), so herrscht während der ganzen Bewegung zwischen dem Drucke der Flüssigkeit auf das Ventil und dem Gegendrucke, welcher das Ventil zu schliessen strebt, dem **Ventildrucke** D, Gleichgewicht; nachdem der Druck der Flüssigkeit auf den ganzen Kolben $= B$, daher auf die Flächeneinheit desselben $= \frac{B}{F}$ ist, so entfällt auf die Ventilfläche F_1 der Flüssigkeitsdruck $\frac{F_1}{F} B$ und es besteht die Gleichung $\frac{F_1}{F} B = D$, woraus $B = \frac{F}{F_1} D$ folgt, dieser Werth ist in die eben abgeleiteten Gleichungen einzusetzen.

Man unterscheidet folgende Arten von hydraulischen Bremsen:

α) Bremsen mit **offenen** Kanälen von **unveränderlicher Weite**; bei diesen ist F_1 constant, daher B variabel, $B = B'w^2$.

β) Bremsen mit **offenen** Kanälen von **veränderlicher Weite**; bei diesen ist F_1 variabel, und wenn die Veränderung der Kanalweite derart regulirt wird, dass das Verhältniss $\frac{W}{F_1}$ einen unveränderlichen Werth behält, B constant. Um dieses zu erreichen, muss die Weite der Kanäle während des Rücklaufes immer mehr verkleinert und schliesslich auf Null gebracht (die Löcher geschlossen) werden; ein Mittel hiezu bietet die Zusammensetzung des mit Löchern versehenen Kolbens aus zwei Scheiben, wovon die eine während des Rücklaufes sich an der anderen dreht.

γ) **Ventilbremsen mit constantem Ventildruck** D; bei diesen Bremsen ist nach $B = \frac{F}{F_1} D$ der Bremsdruck B ebenfalls constant. Damit das vorausgesetzte Gleichgewicht zwischen dem Flüssigkeitsdrucke $\frac{F_1}{F} B$ und dem Ventildrucke D stets stattfinden, d. h. damit die Flüssigkeit auch bei der grössten Geschwindigkeit W des Kolbens rasch genug durch die Ventilöffnung vom Querschnitte F_1 strömen kann, muss F_1 mindestens so gross sein, dass der Gleichung $B = \frac{F^3}{F_1^2} \delta \frac{W^2}{2G} = \frac{F}{F_1} D$ genügt wird; hieraus folgt für den kleinsten Werth der Querschnittsfläche der Kanäle $F_1 = F^2 \frac{\delta}{D} \cdot \frac{W^2}{2G}$. Der constante Ventildruck wird am einfachsten durch eine Gewichtsbelastung des Ventils erzielt; ein Federdruck (wie bei den Bremsen der $28^c/_m$ Raperte) ist zwar variabel, kann aber innerhalb der kleinen Grenzen der Ventilbewegung als constant betrachtet werden.

δ) **Ventilbremsen mit variablem Ventildruck**, welcher einen ebenfalls veränderlichen Bremsdruck zur Folge hat.

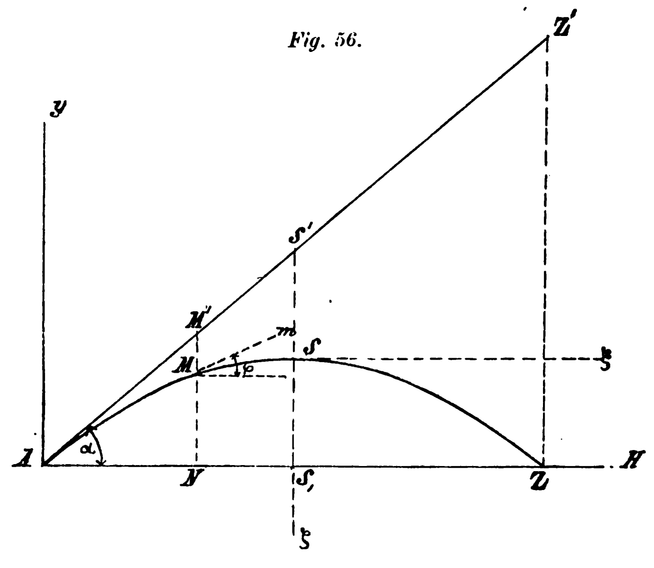
Fünfter Abschnitt.

Aeussere Ballistik.

I. Die Geschossbewegung unter dem alleinigen Einflusse der Schwerkraft.

Das mit der Anfangsgeschwindigkeit V aus der Geschützmündung *A (Fig. 56)* tretende, in der Richtung AZ' unter dem Winkel α gegen die Horizontale AH abgehende Geschoss würde, wenn seine Bewegung

Fig. 56.



nicht durch das Eingreifen einer Kraft eine Störung erleiden möchte, in der Zeit t den Weg Vt zurücklegen und den Punkt M' erreichen, wenn $AM' = Vt$ ist. Infolge der Wirkung der Schwerkraft wird sich aber das Geschoss in der Zeit t um $\frac{1}{2}gt^2$ senken, daher im Punkte M eintreffen, wenn $M'M = \frac{1}{2}gt^2$ ist. Die rechtwinkligen Coordinaten des Punktes M in Bezug auf A als Ursprung sind $AN = x = Vt \cos\alpha$

und $MN = y = Vt \sin\alpha - \frac{1}{2} gt^2$; durch Elimination von t findet man als Gleichung der Curve AMZ, welche das Geschoss beschreibt, $y = x tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2 \cos^2\alpha}$.

$x tg\alpha$ bedeutet die gerade Aufsteigung des Geschosses in der Linie AZ', $\frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha} = h$ die Höhe, um welche sich das Geschoss unter diese Linie senkt, die Fallhöhe des Geschosses; in der Grösse h ist daher der Einfluss der Schwerkraft auf die Bewegung des Geschosses ausgedrückt.

Die Entfernung des Punktes Z, in welchem die Flugbahn die Horizontale schneidet, von der Mündung A heisst horizontale Schussweite, Horizontaldistanz oder Schussdistanz schlechtweg; $AZ = X$ wird erhalten, wenn $y = 0$ gesetzt wird, und ergibt sich $X = \frac{2V^2}{g} \sin\alpha \cos\alpha = \frac{V^2}{g} \sin 2\alpha$. Führt man diesen Werth in die Bahngleichung ein, so folgt $y = x tg\alpha - \frac{x^2}{X} tg\alpha = x tg\alpha \cdot \frac{X - x}{X}$.

Die Richtung der Bewegung in verschiedenen Punkten der Bahn markirt der Winkel φ, welchen die Bahntangente Mm mit der Horizontalen einschliesst: zur Bestimmung dieses Winkels ist $\frac{dy}{dx} = $ $= tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}$, oder wenn $\frac{g}{V^2} = \frac{\sin 2\alpha}{X}$ eingesetzt wird, $tg\varphi = tg\alpha - \frac{2x}{X} tg\alpha = tg\alpha \frac{X - 2x}{X}$. Der Punkt S, für welchen $tg\varphi = 0$, ist der Wendepunkt der Curve, der höchste Punkt — Scheitel — der Bahn, AS der aufsteigende, SZ der absteigende Ast der Bahn. Die horizontale Entfernung AS_1 des Scheitels von der Mündung, die Scheiteldistanz S, folgt aus $tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}$ für $tg\varphi = 0$ mit $S = \frac{V^2}{g} \sin\alpha\cos\alpha = \frac{V^2}{2g} . \sin 2\alpha$; setzt man S statt x in die Gleichung der Bahn, so ergibt sich die Scheitelhöhe

$$Y = \frac{V^2}{g} \sin\alpha\cos\alpha\, tg\alpha - \frac{g}{2V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{V^4 \sin^2\alpha . \cos^2\alpha}{g^2} = \frac{V^2}{2g} \sin^2\alpha = \frac{S}{2} tg\alpha.$$

Bezeichnet l den Weg, welchen das Geschoss in der Bewegungsrichtung zurücklegt, so ist die Geschwindigkeit der Bewegung $v = \frac{dl}{dt}$; zerlegt man diese in zwei Componenten nach den Coordinatenaxen, nämlich in die horizontale Geschwindigkeit v_x

und die verticale v_y, so ist $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$, $v_x=v\cos\varphi$, $v_y=v\sin\varphi$, ferner $v_x=\frac{dx}{dt}$, $v_y=\frac{dy}{dt}$. Die Differentiation von $x=Vt\cos\alpha$ und $y=Vt\sin\alpha-\frac{1}{2}gt^2$ ergibt $v_x=\frac{dx}{dt}=V\cos\alpha$, $v_y=\frac{dy}{dt}=V\sin\alpha-gt$; durch Einsetzen von $t=\frac{x}{V\cos\alpha}$ wird $v_y=V\sin\alpha-\frac{gx}{V\cos\alpha}$ und mit $\frac{gx}{V\cos\alpha}=V\cos\alpha(tg\alpha-tg\varphi)=V\sin\alpha-V\cos\alpha\,.\,tg\varphi$, $v_y=V\cos\alpha\,.\,tg\varphi$. Für die Geschwindigkeit in der Bahn — Tangentialgeschwindigkeit v — findet man

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{V^2\cos^2\alpha+\left(V\sin\alpha-\frac{gx}{V\cos\alpha}\right)^2}=$$

$$=\sqrt{V^2-2g\left(x\,tg\alpha-\frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\right)}=\sqrt{V^2-2gy}.$$

Aus $v_x=v\cos\varphi=V\cos\alpha$ ist auch $v=V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi}$.

Zusammenstellung der abgeleiteten Gleichungen:

Gleichung der Flugbahn:	$y=x\,tg\alpha-\frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}=x\,tg\alpha\frac{X-x}{X}$.
Fallhöhe des Geschosses:	$h=\frac{g}{2V^2\cos^2\alpha}x^2$,
horizontale Schussweite:	$X=\frac{V^2}{g}\sin 2\alpha$,
Scheiteldistanz:	$S=\frac{V^2}{2g}\sin 2\alpha$,
Scheitelhöhe:	$Y=\frac{S}{2}tg\alpha=\frac{V^2}{2g}\sin^2\alpha$,
Richtungswinkel der Bahn:	$tg\varphi=tg\alpha-\frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}=tg\alpha\frac{X-2x}{X}$.
horizontale Geschwindigkeit:	$v_x=V\cos\alpha$,
verticale Geschwindigkeit:	$v_y=V\cos\alpha\,.\,tg\varphi$,
Tangentialgeschwindigkeit:	$v=\sqrt{V^2-2gy}=V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi}$.
Flugzeit:	$t=\frac{x}{V\cos\alpha}$.

Aus diesen Gleichungen ergeben sich bezüglich der Verhältnisse der Flugbahn folgende Folgerungen:

1.) Die Gleichung $S=\frac{1}{2}\cdot\frac{V^2}{g}\sin 2\alpha=\frac{1}{2}X$ zeigt, dass die Scheiteldistanz gleich der halben Horizontaldistanz ist, d. h. dass der Fusspunkt S_1 des Scheitels in die Mitte der horizontalen Schussweite fällt. Die Höhe des Scheitels ist, wie aus $Y=\frac{1}{2}\,.\,S\,tg\alpha$ hervorgeht, halb

so gross, als das Aufsteigen in der Geraden AZ' ($S tg \alpha$) betragen hätte, d. h. es ist $SS_1 = \frac{1}{2} S'S_1$, somit verliert das Geschoss durch die Wirkung der Schwerkraft in der Mitte der Distanz die Hälfte seiner Steighöhe. Die Fallhöhe des Geschosses, $h = \frac{g}{2 V^2 cos^2 \alpha} \cdot x^2$, nimmt mit der horizontalen Entfernung von der Mündung im quadratischen Verhältnisse zu.

2.) Führt man in die Grundgleichung die Scheiteldistanz S ein, so ist die Höhe des Geschosses über der Horizontalen allgemein
$y = x tg \alpha - \frac{g}{V^2 sin \alpha . cos \alpha} \cdot \frac{1}{2} x^2 tg \alpha = x tg \alpha - \frac{x^2}{2S} tg \alpha = x tg \alpha \frac{2S - x}{2S}$;
für zwei von S_1 gleich weit entfernte Punkte, denen die Abscissen $x = S - x'$ und $x = S + x'$ zukommen, ist

$$y = (S - x') tg \alpha \frac{S + x'}{2S} = tg \alpha \cdot \frac{S^2 - x'^2}{2S} \text{ und}$$

$$y = (S + x') tg \alpha \frac{S - x'}{2S} = tg \alpha \cdot \frac{S^2 - x'^2}{2S},$$

d. h. die Höhen der von der Mitte aus symmetrisch liegenden Punkte der Bahn sind einander gleich.

3.) Führt man denselben Werth S auch in die Gleichung für den Richtungswinkel ein, so ist $tg \varphi = tg \alpha . \frac{S - x}{S}$; für alle Werthe von $x < S$ (aufsteigender Ast) ist φ positiv und abnehmend, für alle Werthe von $x > S$ (absteigender Ast) ist φ negativ und zunehmend. Setzt man wieder $x = S - x'$ und $x = S + x'$, so ist $tg \varphi = \frac{x'}{S} tg \alpha$ und $tg \varphi = -\frac{x'}{S} tg \alpha$, d. h. in symmetrisch liegenden Punkten sind die Richtungswinkel der Grösse nach gleich, folglich ist der Winkel am Ende der Bahn — der Einfallwinkel — gleich dem Abgangswinkel.

4.) Die horizontale Componente der Geschwindigkeit bleibt während der ganzen Bahn unverändert;* die verticale Componente ändert sich mit dem Richtungswinkel, ist daher von A bis S positiv (im ursprünglichen Sinne, nach aufwärts) und abnehmend, im Scheitel $= 0$, von S bis Z negativ (nach abwärts) und zunehmend, für

* Dies ergibt sich übrigens als directe Folgerung aus der Richtung der das Geschoss aus seiner geradlinigen Bahn ablenkenden Ursache, der Schwerkraft, welche im verticalen Sinne wirkt, daher auf die Geschwindigkeit im horizontalen Sinne keinen Einfluss haben kann.

symmetrische Punkte der Grösse nach gleich, somit im Endpunkte so gross wie am Anfang. Nachdem die horizontale Componente constant ist, so folgt die Tangentialgeschwindigkeit selbst bezüglich ihres Verlaufes demselben Gesetz, wie die verticale Componente; sie nimmt von A bis S ab, hat in S ihr Minimum ($v = v_x$), nimmt von S bis Z wieder zu und hat in symmetrisch gelegenen Punkten dieselbe Grösse; die Geschwindigkeit in Z — Endgeschwindigkeit — ist daher gleich der Anfangsgeschwindigkeit.

5.) Die Flugzeit t nimmt im directen einfachen Verhältnisse mit der horizontalen Entfernung von der Mündung zu.

6.) Die Gleichheit der Höhen und Neigungen der Curve in Punkten, welche gleich weit von der Mitte entfernt sind, zeigt, dass der Scheitelpunkt S die Flugbahn in zwei vollkommen gleiche Theile theilt, dass daher der absteigende Ast gleich lang wie der aufsteigende ist. Ferner folgt aus der symmetrischen Gleichheit der obigen, auf die Grundlinie AZ sich beziehenden Factoren, dass die im Theilungspunkte auf AZ gezogene Senkrechte SS_1 die Axe der Curve sein muss. Die Curve ist, wie aus der Gleichung $y = tg\alpha \cdot x - \frac{g}{2V^2 cos^2\alpha} \cdot x^2$ hervorgeht, eine Parabel, deren Scheitel nicht mit dem Ursprung der Coordinaten zusammenfällt, deren Axe aber zur Y-Axe parallel lauft; es kann daher nur S der Scheitel, SS_1 die Axe der Parabel sein. Dass dem so ist, überzeugt man sich leicht, wenn man die Transformation der Coordinaten auf S als Ursprung vornimmt. Für diese Transformation ist, wenn man die neuen Coordinaten mit ξ und ζ bezeichnet,

$$x = S + \xi = \frac{V^2}{g} sin\,\alpha \cdot cos\,\alpha + \xi, \quad y = Y - \zeta = \frac{V^2}{2g} sin^2\alpha - \zeta;$$

durch Einsetzen dieser Werthe in die obige Gleichung $y = f(x)$ erhält man als neue Gleichung der Curve $\xi^2 = \frac{2V^2}{g} cos^2\alpha \cdot \zeta = 4 \cdot \frac{V^2}{2g} cos^2\alpha \cdot \zeta$, die Scheitelgleichung einer Parabel: der Parameter, d. h. die Entfernung des Brennpunktes vom Scheitel, ist $p = \frac{V^2}{2g} cos^2\alpha$.

7.) Die Länge L der Flugbahn ergibt sich folgendermassen: Behält man die Coordinaten bezogen auf das im Scheitel angeordnete Sistem bei, so ist $dl = \frac{d\xi}{cos\,\varphi}$, daher die halbe Länge der Bahn $\frac{1}{2} L = \int_0^S \frac{d\xi}{cos\,\varphi}$; nachdem $cos\,\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi}}$ und $tg\,\varphi = \frac{d\zeta}{d\xi}$ ist, wofür

man durch Differentiation der Curvengleichung $tg\varphi = \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \xi$ oder, wenn zur Abkürzung $\frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} = \gamma$ gesetzt wird, $tg\varphi = \gamma\xi$ erhält, so folgt $\frac{1}{2} L = \int_0^S d\xi \sqrt{1 + \gamma^2 \xi^2}$. Die Integration gibt

$$\int d\xi \sqrt{1+\gamma^2\xi^2} = \tfrac{1}{2} \xi \sqrt{1+\gamma^2\xi^2} + \frac{1}{2\gamma} Lg \left[\gamma\xi + \sqrt{1+\gamma^2\xi^2}\right];$$

nachdem für $\xi = 0$ das Integral $= 0$ ist, so ergibt sich

$$\tfrac{1}{2} L = S\left[\tfrac{1}{2} \sqrt{1+\gamma^2 S^2} + \frac{1}{2\gamma S} Lg(\gamma S + \sqrt{1+\gamma^2 S^2})\right]$$

und das Verhältniss der ganzen Bahnlänge zur horizontalen Schussweite $X = 2S$:

$$\frac{L}{X} = \tfrac{1}{2} \sqrt{1+\gamma^2 S^2} + \frac{1}{2\gamma S} Lg(\gamma S + \sqrt{1+\gamma^2 S^2})$$

oder wenn $\gamma S = \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{V^2}{g} sin\, \alpha \,.\, cos\, \alpha = tg\, \alpha$ eingeführt wird,

$$\frac{L}{X} = \tfrac{1}{2} \sqrt{1 + tg^2 \alpha} + \frac{1}{2 tg\, \alpha} Lg(tg\, \alpha + \sqrt{1 + tg^2 \alpha}) = \tfrac{1}{2} sec\, \alpha + \tfrac{1}{2} ctg\, \alpha\, Lg(tg\, \alpha + sec\, \alpha).$$

8.) Wie die Gleichung $X = \frac{V^2}{2g} sin\, 2\alpha$ zeigt, ist die horizontale Schussdistanz von der Anfangsgeschwindigkeit und vom Abgangswinkel abhängig. Bei constantem Abgangswinkel nimmt die Distanz im quadratischen Verhältnisse mit dem Wachsen der Anfangsgeschwindigkeit zu.*

Bei constanter Anfangsgeschwindigkeit nimmt die Distanz, welche für $\alpha = 0$ ebenfalls $X = 0$ ist, mit dem Wachsen des Abgangswinkels zu, bis $\alpha = 45^0$, wo wegen $sin\, 2\alpha = sin\, 90^0 = 1$, $X = \frac{V^2}{g}$ wird; beim weiteren Wachsen des Abgangswinkels von 45^0 bis 90^0, wobei 2α die Werthe von 90^0 bis 180^0, daher $sin\, 2\alpha$ die Werthe von 1 bis 0 durchlauft, nimmt die Distanz wieder ab, bis für $\alpha = 90^0$

* Aus dem vierten Abschnitt, II., ist als ungefähres Verhältniss bekannt, dass zur Vergrösserung der Anfangsgeschwindigkeit bei constantem Geschossgewicht die Pulverladung im quadratischen Verhältnisse zur Geschwindigkeit gesteigert werden muss; nachdem dies dasselbe Verhältniss ist, in welchem bei gleich bleibender Elevation die Schussdistanz wächst, so stehen die Aenderung der Pulverladung und die dadurch bedingte Aenderung der Schussdistanz im directen einfachen Verhältnisse. Es müsste beispielsweise, um die Anfangsgeschwindigkeit zu verdoppeln, die Pulverladung vervierfacht werden, dies würde aber eine Vervierfachung der Schussdistanz zur Folge haben.

(verticaler Wurf) $X = 0$ wird. Es ist daher die **grösste Distanz**, welche das Geschoss mit der Anfangsgeschwindigkeit V erreichen kann, $X_{max} = \frac{V^2}{g}$, sie findet bei der Elevation von 45° statt; jede andere Distanz $X < X_{max}$ kann mit zwei verschiedenen Abgangswinkeln erreicht werden, wovon der eine $\alpha < 45°$ und der andere $\alpha' > 45°$ ist. Die beiden einer und derselben Distanz entsprechenden Abgangswinkel α und α' ergänzen sich auf 90°, denn es ist für $\alpha' = 90 - \alpha$, $\sin 2\alpha' = \sin(180 - 2\alpha) = \sin 2\alpha$; man muss daher, um eine bestimmte Distanz zu erreichen, einen bestimmten Abgangswinkel α von der Horizontalen AH (*Fig. 57*) oder denselben Winkel von der Verticalen AY anwenden, das erstere gibt den **niederen**, das letztere den **hohen** Wurf. Die Flugbahnen dieser beiden Würfe ASZ und $AS'Z$ treffen nur im Anfangs- und Endpunkte zusammen und können zu ihrer Unterscheidung durch die Differenz der Scheitelhöhen SS_1 und $S'S_1$ charakterisirt werden: die Scheitelhöhe für den Winkel α ist

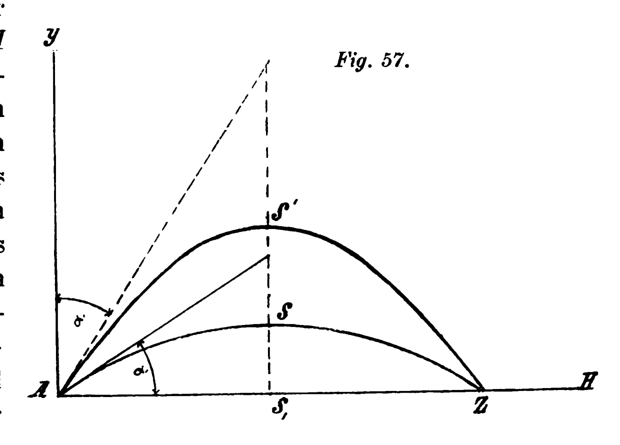


Fig. 57.

$$Y = \frac{V^2}{2g} \sin^2\alpha = \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha) = \frac{V^2}{4g}(1 - \cos \alpha)$$

und für den Winkel $\alpha' = 90 - \alpha$

$$Y' = \frac{V^2}{4g}[1 - \cos(180 - 2\alpha)] = \frac{V^2}{4g}(1 + \cos 2\alpha).$$

die Differenz der beiden Scheitelhöhen somit

$$Y' - Y = \frac{V^2}{4g} \cdot 2 \cos 2\alpha = \frac{V^2}{2g} \cos 2\alpha.$$

Für $\alpha = 45°$ ist diese Differenz $= 0$, d. h. die beiden Bahnen fallen in eine (die der grössten Distanz) zusammen; mit dem Abnehmen von α wächst die Differenz und erreicht für $\alpha = 0$, $\alpha' = 90°$ den

grössten Werth $\frac{V^2}{2g}$. Die Grösse $Y_{max} = \frac{V^2}{2g}$ bezeichnet die **Steighöhe** des Geschosses im verticalen Wurf, welche sonach halb so gross ist als X_{max}, die grösste Distanz.

Zieht man nur die niederen Würfe in Betracht, so zeigt die Gleichung $X = \frac{V^2}{g} \sin 2\alpha$, dass die Schussweiten nicht in demselben, sondern in einem kleineren Verhältnisse zunehmen, wie die Abgangswinkel, dass daher, um die doppelte Distanz $2X$ zu erreichen, mehr als die doppelte Elevation angewendet werden muss; nachdem $\sin 30^0 = \frac{1}{2}$ ist, so würde schon bei $\alpha = 15^0$ die halbe Maximaldistanz erreicht werden.

Beispiel. Ein Geschoss verlasse mit einer Anfangsgeschwindigkeit $V = 500$ m/s die Mündung; unter dem blossen Einflusse der Schwerkraft würde dieses Geschoss, wenn die Acceleration der Schwerkraft mit $g = 9 \cdot 805$ m/s eingeführt wird, die Maximaldistanz (für $\alpha = 45^0$) $X_{max} = 25497$ m/s erreichen, die grösste Steighöhe desselben im verticalen Wurf wäre $Y_{max} = 12749$ m/s. Ferner ergibt sich

für den Abgangswinkel	$\alpha =$	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°	
die Horizontaldistanz	$X =$	0	8721	16389	22081	25110	25497	25110	22081	16389	8721	0	m/s
» Scheiteldistanz	$S =$	0	4360	8195	11041	12555	12749	12555	11041	8195	4360	0	m/s
» Scheitelhöhe	$Y =$	0	384	1491	3187	5267	6374	7481	9561	11257	12364	12749	m/s
» Geschwind. im Scheitel	$V_s =$	500	492	470	433	383	353	321	250	171	87	0	m/s
» totale Flugzeit	$T =$	0	17·7	34·9	51·0	65·5	72·1	78·1	88·3	95·8	100·5	102·0	s
» Länge der Bahn	$L =$	0	8766	16745	23252	27803	29265	30179	30476	29136	26983	25487	m/s

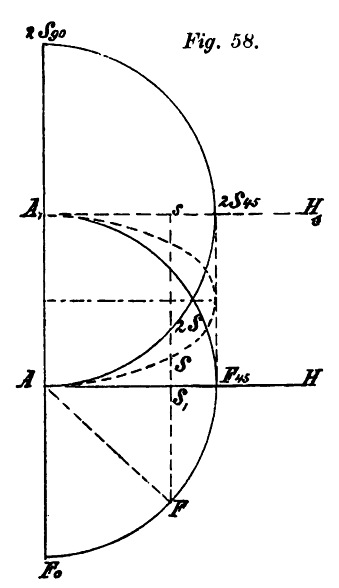


Fig. 58.

Zwischen den Flugbahnen, welche sich bei einer und derselben Anfangsgeschwindigkeit unter verschiedenen Elevationen ergeben, besteht folgender bemerkenswerthe Zusammenhang. Die Entfernung des Brennpunktes F *(Fig. 58)* der Bahnparabel vom Scheitel ist allgemein $FS = \frac{V^2}{2g} \cos^2 \alpha$, zieht man davon die Scheitelhöhe $SS_1 = \frac{V^2}{2g} \sin^2 \alpha$ ab, so findet man, dass der Brennpunkt F um $FS_1 = \frac{V^2}{2g} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = \frac{V^2}{2g} \cos 2\alpha$ unter die Horizontale AH fällt; nachdem $AS_1 = \frac{V^2}{2g} \sin 2\alpha$, daher wegen $\frac{V^2}{2g} = Y_{max}$, $FS_1 = Y_{max} \cos 2\alpha$, $AS_1 = Y_{max} \sin 2\alpha$ und $AF = \sqrt{\overline{AS_1}^2 + \overline{FS_1}^2} = Y_{max}$ ist, so müssen die geometrischen Oerter der Brennpunkte einen Kreis bilden, dessen Mittelpunkt A und dessen Radius $Y_{max} = \frac{V^2}{2g}$ die grösste Steighöhe des

Geschosses (im verticalen Wurf) ist. Für den Durchschnittspunkt dieses Kreises mit AH ist $FS = 0$, $AF = Y_{max} = \frac{1}{2} X_{max}$, dieser Punkt muss daher der Brennpunkt der Parabel für die grösste Distanz ($\alpha = 45^0$) sein; der Viertelkreis $F_0 . F_{45}$ enthält die Brennpunkte der Bahnen für Winkel von 0 bis 45° (niedere Würfe), der Viertelkreis $F_{45} . A_1$ die Brennpunkte der Bahnen für Winkel von 45 bis 90° (hohe Würfe), die Brennpunkte der beiden Einer Distanz zukommenden Bahnen liegen vertical übereinander.

Ferner ist die doppelte Scheitelhöhe

$$2Y = \frac{V^2}{2g} 2 \sin^2 \alpha = \frac{V^2}{2g} (1 - \cos 2\alpha) = Y_{max}(1 - \cos 2\alpha).$$

daher $Y_{max} - 2Y = Y_{max} \cos 2\alpha$; beschreibt man aus dem Punkte A_1 mit dem Radius Y_{max} einen Kreis, so muss dieser alle Punkte enthalten, welche um die doppelte Scheitelhöhe (die Steighöhe in gerader Linie AZ') von der Horizontalen entfernt sind, denn es ist $A_1 s = AS_1 = Y_{max} \sin 2\alpha$ und $s . 2S = sS_1 - S_1 . 2S = Y_{max} - 2Y = Y_{max} \cos 2\alpha$ und $A_1 . 2S = \sqrt{\overline{A_1 s}^2 + \overline{s . 2S}^2}$. Führt man $A_1 H_1$ parallel zu AH, so ist der Punkt $2S_{45}$, in welchem diese Linie den Kreis schneidet, der Punkt der doppelten Steighöhe der Flugbahn für 45°, der Viertelkreis $A . 2S_{45}$ entspricht den Bahnen für Winkel von 0 bis 45°, der Viertelkreis $2S_{45} . 2S_{90}$ aber den Bahnen für Winkel von 45 — 90°. Der geometrische Ort der Scheitelpunkte selbst bildet eine Ellipse, deren Axen die grösste Distanz und die grösste Steighöhe sind. —

Die Darlegung der Bewegungsverhältnisse des Geschosses, wenn auf dasselbe nur die Schwerkraft wirken würde, führt wegen der parabolischen Gestalt der Flugbahn den Namen »parabolische Theorie«. Diese Theorie sieht von dem Einflusse des Luftwiderstandes auf die Geschossbewegung ab, die abgeleiteten Gleichungen hätten also nur dann Geltung, wenn das Geschoss sich im leeren Raume bewegen würde. Nichtsdestoweniger ist die Anführung derselben in der Ballistik nicht überflüssig, erstlich macht der Vergleich der wirklichen Flugbahn mit der parabolischen, sowie der aller übrigen auf die Geschossbewegung bezüglichen Factoren (Geschwindigkeit, Neigungswinkel etc.), wie sie sich in beiden Fällen ergeben, den Einfluss des Luftwiderstandes klarer ersichtlich; ferner kann immerhin bei geringen Verzögerungen durch den Luftwiderstand (nachdem der Luftwiderstand von der Geschossgeschwindigkeit abhängt, bei kleinen Geschwindigkeiten) der wirklichen Bahn die parabolische substituirt werden; ebenso können selbst bei grösseren Geschwindigkeiten einzelne kleine Strecken der wirklichen Bahn als nach der parabolischen Theorie verlaufend angenommen werden, woraus sich für die Verhältnisse derselben einfachere Relationen ableiten lassen.

II. Die Geschossbewegung bei Einwirkung der Schwerkraft und des Luftwiderstandes.

Durch die Einwirkung des Luftwiderstandes auf das Geschoss wird die parabolische Bahn desselben modificirt und gleichzeitig infolge der Rotation in den meisten Fällen eine Abweichung des Geschosses aus der Schussebene bewirkt. Im Nachfolgenden soll vorerst von

dieser seitlichen Ablenkung abgesehen und nur die Gestalt der auf die Schussebene projicirt gedachten Bahn betrachtet werden.

Der Luftwiderstand, für sich allein (ohne Rücksicht auf die Schwerkraft) betrachtet, verzögert die geradlinige Bewegung des Geschosses in der Abgangsrichtung *AB* (*Fig. 59*), so dass dasselbe, wenn es sonst in der Zeit t den Weg AM' zurückgelegt hätte, infolge dieser Verzögerung nur den Weg $A\mu' < AM'$ machen würde. Lässt man nun die Wirkung der Schwerkraft hinzutreten, welche in der Zeit t wie früher $\frac{1}{2}gt^2$ ist, so senkt sich das Geschoss während des horizontalen Weges $A\nu$ um nahezu ebenso viel, als es sich bei der Bewegung im leeren Raume während des horizontalen Weges AN gesenkt hätte, d. h. es ist $\mu'\mu = M'M$. Bezeichnet $A\mu''M$ die Bahn, welche das Geschoss im leeren Raume beschreiben würde, und $A\mu M''$ die Bahn, welche es unter der Einwirkung des Luftwiderstandes wirklich beschreibt, so muss, nachdem $M'M > \mu'\mu''$ ist, ebenfalls $\mu'\mu > \mu'\mu''$ sein, d. h. die wirkliche Fallhöhe des Geschosses h während des in horizontaler Richtung gemessenen Weges $A\nu = x$ ist grösser als die Fallhöhe $h' = \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha}$, welche sich in der gleichen horizontal gemessenen Entfernung von der Mündung bei der Bewegung im leeren Raume ergeben hätte. Setzt man das Verhältniss der Fallhöhen $\frac{h}{h'} = \mathfrak{Y}$, so ist die der Abscisse x zugehörige Ordinate $\mu\nu = y = $ $= x tg \alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y}$: dies ist die Gleichung der vom Geschosse wirklich beschriebenen Bahncurve $A\mu M''$. $\mathfrak{Y} = \psi(x)$ bedeutet eine Function, welche die durch den Luftwiderstand bedingte Modification der Fallhöhe, beziehungsweise der Flugbahn selbst darstellt: da $h > h'$, so muss $\mathfrak{Y} > 1$ sein.

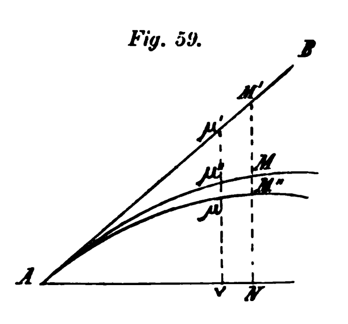


Fig. 59.

Aus der Gleichung $y = x tg \alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y}$ erhält man durch Differentiation

$$\frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\mathfrak{Y}}{dx} - \frac{gx}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y} =$$

$$= tg\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2 \alpha}\left[\mathfrak{Y} + \frac{x}{2} \cdot \frac{d\mathfrak{Y}}{dx}\right],$$

oder wenn man den Differentialquotienten $\frac{d\mathfrak{Y}}{dx} = \mathfrak{Y}'$ setzt,

$$tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2\alpha}\left(\mathfrak{Y} + \frac{x}{2}\mathfrak{Y}'\right).$$

Bei der Bewegung im luftleeren Raume besteht für den Richtungswinkel φ' in der horizontalen Entfernung $= x$ von der Mündung die Gleichung

$$tg\varphi' = tg\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2\alpha}:$$

setzt man $\mathfrak{Y} + \frac{x}{2} \cdot \frac{d\mathfrak{Y}}{dx} = \mathfrak{F}$, so ist in der wirklichen Bahn

$$\frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2\alpha}\mathfrak{F};$$

die Function $\mathfrak{F}$ stellt demnach die durch den Luftwiderstand bedingte Modification des Winkels der Bewegungsrichtung gegenüber jenem im leeren Raume dar. Nachdem der Unterschied der Fallhöhen mit x zunimmt, so muss der Differentialquotient $\frac{d\mathfrak{Y}}{dx}$ positiv ($\mathfrak{Y}' > 0$), somit $\mathfrak{F} > \mathfrak{Y}$, und da $\mathfrak{Y} > 1$, um so mehr $\mathfrak{F} > 1$ sein.

Bei der Bewegung im leeren Raume erleidet nur die Verticalcomponente der Geschwindigkeit eine Aenderung, während die Horizontalcomponente $v' cos\,\varphi' = V cos\,\alpha$ constant bleibt; durch den Luftwiderstand geschieht eine Verzögerung des Geschosses in der Bewegungsrichtung, wodurch nicht nur die Vertical-, sondern auch die Horizontalcomponente $v\,cos\,\varphi$ eine Aenderung erfährt. Diesen Unterschied in Bezug auf die Horizontalcomponente der Geschwindigkeit in beiden Fällen kann man dadurch ausdrücken, dass man für die Bewegung im Luftraume $v\,cos\,\varphi = V cos\,\alpha \,.\, \frac{1}{\mathfrak{B}}$ setzt, wo $\mathfrak{B} > 1$ ist; hiedurch wird die Tangentialgeschwindigkeit

$$v = V\frac{cos\,\alpha}{cos\,\varphi} \cdot \frac{1}{\mathfrak{B}};$$

$\mathfrak{B}$ ist demnach eine Function, welche die durch den Luftwiderstand bedingte Modification der für den leeren Raum giltigen Gleichung der Tangentialgeschwindigkeit bezeichnet.

Ebenso ist klar, dass infolge der Verzögerung durch den Luftwiderstand die Zeit t, welche das Geschoss zum Zurückle[illegible] bestimmten horizontalen Weges $= x$ benöthiget, grösser als die Zeit t', welche es hiezu im leeren Raum gebrauc

kann demnach $t = t' . \mathfrak{T}$, und da $t' = \frac{x}{V\cos\alpha}$ ist, $t = \frac{x}{V\cos\alpha}\cdot\mathfrak{T}$ gesetzt werden, wo $\mathfrak{T}$ die die Flugzeitgleichung modificirende Function darstellt und $\mathfrak{T} > 1$ ist.

Die Fundamentalgleichungen der Geschossbewegung im Luftraume, basirt auf jene der Bewegung im leeren Raume, sind demnach in der allgemeinsten Form

$$y = x\,tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\cdot\mathfrak{Y},\quad tg\,\varphi = tg\,\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}\cdot\mathfrak{F},$$

$$v = V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi}\cdot\frac{1}{\mathfrak{V}},\quad t = \frac{x}{V\cos\alpha}\cdot\mathfrak{T},$$

wobei die modificirenden Functionen $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{V}$ und $\mathfrak{T}$ als von der Grösse des Luftwiderstandes abhängige Grössen zu betrachten und demgemäss zu bestimmen sind. Bezeichnet man für den Endpunkt der Bahn, wo $x = X$ ist, die Werthe dieser Functionen beziehungsweise mit $\mathfrak{Y}_0$, $\mathfrak{F}_0$, $\mathfrak{V}_0$ und $\mathfrak{T}_0$, so ist die Gleichung für die Bestimmung

der horizontalen Schussweite: $tg\,\alpha = \frac{gX}{2V^2\cos^2\alpha}\cdot\mathfrak{Y}_0$, woraus

$X\mathfrak{Y}_0 = \frac{V^2}{g}\sin 2\alpha$ folgt;

für den Einfallwinkel ist: $tg\,\Phi = tg\,\alpha - \frac{gX}{V^2\cos^2\alpha}\cdot\mathfrak{F}_0$, wird hier

$\frac{gX}{V^2\cos^2\alpha} = \frac{2tg\,\alpha}{\mathfrak{Y}_0}$ eingesetzt, so ist $tg\,\Phi = tg\,\alpha\left(1 - 2\frac{\mathfrak{F}_0}{\mathfrak{Y}_0}\right)$, oder nachdem der Einfallwinkel negativ ist, für den absoluten Werth desselben $tg\,\Phi = tg\,\alpha\left(2\frac{\mathfrak{F}_0}{\mathfrak{Y}_0} - 1\right)$, — wird umgekehrt statt $tg\,\alpha$ $\frac{gX}{2V^2\cos^2\alpha}\cdot\mathfrak{Y}_0$ eingeführt, so ist $tg\,\Phi = \frac{gX}{2V^2\cos^2\alpha}(2\mathfrak{F}_0 - \mathfrak{Y}_0)$;

für die Endgeschwindigkeit: $U = V\frac{\cos\alpha}{\cos\Phi}\cdot\frac{1}{\mathfrak{V}_0}$;

für die totale Flugzeit: $T = \frac{X}{V\cos\alpha}\cdot\mathfrak{T}_0$.

Wird ferner für den Scheitel der Bahn $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}_1$ und $\mathfrak{Y} = \mathfrak{Y}_1$ gesetzt, so ist die Gleichung

zur Bestimmung der Scheiteldistanz: $tg\,\alpha = \frac{gS}{V^2\cos^2\alpha}\mathfrak{F}_1$, woraus

$S\mathfrak{F}_1 = \frac{V^2}{2g}\sin 2\alpha$ folgt, und

für die Scheitelhöhe: $Y = Stg\alpha - \frac{gS^2}{2V^2cos^2\alpha} \cdot \mathfrak{Y}_1$, — wird hier einmal $\frac{g}{2V^2cos^2\alpha} = \frac{tg\alpha}{X\mathfrak{Y}_0}$ und das anderemal $\frac{gS}{V^2cos^2\alpha} = \frac{tg\alpha}{\mathfrak{F}_1}$ eingeführt, so ergeben sich zwei neue Gleichungen für Y, u. zw.:

$$Y = Stg\alpha\left(1 - \frac{S\mathfrak{Y}_1}{X\mathfrak{Y}_0}\right) \text{ und } Y = \frac{S}{2}tg\alpha\left(2 - \frac{\mathfrak{Y}_1}{\mathfrak{F}_1}\right).$$

Um den Zusammenhang der Functionen $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{V}$ und $\mathfrak{T}$ untereinander und mit der Grösse des Luftwiderstandes aufzustellen, werden im Nachfolgenden die obigen Fundamentalgleichungen auf Grund der auf das Geschoss einwirkenden Kräfte selbständig abgeleitet.

Das Geschoss vom Gewichte G und der Masse $m = \frac{G}{g}$ habe in irgend einem Punkte $M(x, y)$ seiner Bahn die Geschwindigkeit v und der Winkel seiner augenblicklichen Bewegungsrichtung mit der Horizontalen AH sei $= \varphi$; um seine Bewegung nach Intensität und

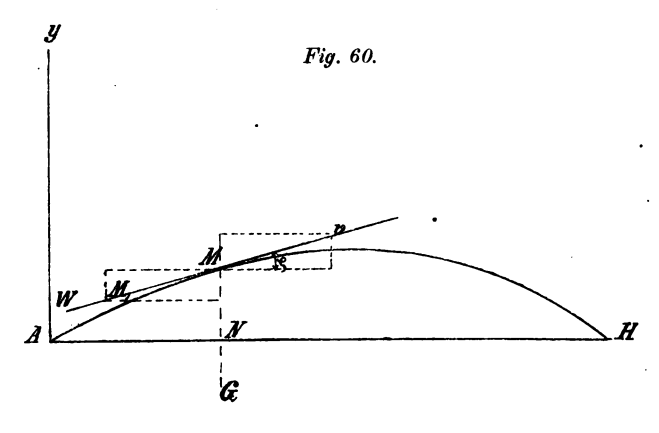


Fig. 60.

Richtung zu verändern, wirkt der Luftwiderstand W und die Schwerkraft G; als Richtung der ersteren Kraft kann die der Bewegungsrichtung entgegengesetzte MM_1 angenommen werden; die Richtung der Schwerkraft ist die Verticale MN. Zerlegt man die Geschwindigkeit v in die beiden Componenten $v_x = v\,cos\,\varphi$ und $v_y = v\,sin\,\varphi$, zerlegt man ebenso den Luftwiderstand W in die Componenten $W_x = -W cos\,\varphi$ und $W_y = -W sin\,\varphi$, so wirkt auf die Bewegung in der horizontalen Richtung zur Veränderung der Geschwindigkeit v_x die verzögernde Kraft $-W cos\,\varphi$, und auf die Bewegung in der verticalen Richtung

(nach aufwärts) die verzögernde Kraft $-(G + W \sin\varphi)$, es bestehen demnach die Differentialgleichungen der Bewegung

$$m \frac{dv_x}{dt} = -W \cos\varphi \quad \text{und} \quad m \frac{dv_y}{dt} = -(G + W \sin\varphi)$$

oder

$$\frac{d(v \cos\varphi)}{dt} = -\frac{W}{m} \cos\varphi \quad \text{und} \quad \frac{d(v \sin\varphi)}{dt} = -g - \frac{W}{m} \sin\varphi.$$

Setzt man das Luftwiderstandsgesetz eingliederig (siehe zweiter Abschnitt) voraus, so ist $W = Av^n$: für das quadratische Gesetz wäre $W = \lambda r^2 \pi \delta \frac{v^2}{2g}$, daher $A = \lambda . \frac{r^2 \pi}{2g} \delta$. Dieser Ausdruck für A kann bei jedem anderen Luftwiderstandsgesetze beibehalten werden, wobei nur λ, welches beim quadratischen Luftwiderstandsgesetze eine absolute Zahl bezeichnet, seine geometrische Bedeutung ändert.* Führt man ferner die Bezeichnung $\frac{A}{m} = a_n$ ein, so ist $\frac{W}{m} = a_n v^n$, wobei a_n die Reciproke einer Grösse von $(n-1)$ Dimensionen bedeutet. daher je nach dem Widerstandsgesetz eine verschiedene geometrische Bedeutung hat: die Bewegungsgleichungen übergehen in

$$\frac{d(v \cos\varphi)}{dt} = -a_n v^n \cos\varphi \quad \text{und} \quad \frac{d(v \sin\varphi)}{dt} = -g - a_n v^n \sin\varphi.$$

Aus der ersten Gleichung wird

$$d(v \cos\varphi) = -a_n v^n \cos\varphi \;.\; dt = -a_n v^{n-1} v \cos\varphi\, dt,$$

und da $v \cos\varphi = \frac{dx}{dt}$, daher $v \cos\varphi\, dt = dx$ ist,

$$d(v \cos\varphi) = -a_n v^{n-1} dx;$$

behufs Integration muss mit Hinblick auf die Variable $v \cos\varphi$ auf der linken Seite die Transformation

$$\frac{d(v \cos\varphi)}{(v \cos\varphi)^{n-1}} = -\frac{1}{\cos\varphi^{n-1}} \cdot a_n dx$$

---

* In dieser Form ist allgemein $W = \lambda r^2 \pi \delta \frac{v^n}{2g}$; setzt man $\lambda = \frac{\lambda'}{\varkappa^{n-2}}$, so ist $W = \lambda' r^2 \pi \delta \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{v^{n-2}}{\varkappa^{n-2}}$, hier bedeutet $\varkappa$ eine Grösse von Einer Dimension (Linie), daher $\varkappa^{n-2}$ eine Grösse von $(n-2)$ Dimensionen. Da λ' eine absolute Zahl ist, so bedeutet $\lambda = \frac{\lambda'}{\varkappa^{n-2}}$ die Reciproke einer Grösse von $(n-2)$ Dimensionen; beim cubischen Gesetz $(n = 3)$ wäre also λ die Reciproke einer Grösse von Einer Dimension, beim biquadratischen Gesetz $(n = 4)$ die Reciproke einer Grösse von zwei Dimensionen u. s. f.

vorgenommen werden. Um auf der rechten Seite der Gleichung die Integration auszuführen, soll anstatt des variablen $\frac{1}{\cos\varphi^{n-1}}$ ein constanter Mittelwerth eingeführt werden. $\frac{1}{\cos\varphi} = \frac{dl}{dx}$ bedeutet das Verhältniss des elementaren Weges in der Bahn selbst zum Wege in der horizontalen Richtung, hiefür soll das Verhältniss der ganzen Bahnlänge L zur Horizontaldistanz X, d. h. $\frac{1}{\cos\varphi} = \frac{L}{X}$ gesetzt werden; einen annähernd richtigen Werth für $\frac{L}{X}$ erhält man, wenn man den Verhältnissen der wirklichen Bahn jene der bei demselben Abgangswinkel α sich ergebenden parabolischen Bahn substituirt, in welchem Falle

$$\frac{L}{X} = \tfrac{1}{2}\sec\alpha + \tfrac{1}{2}\operatorname{ctg}\alpha\, Lg(\operatorname{tg}\alpha + \sec\alpha)$$

ist. Dieser Werth ist nur von α abhängig, daher für alle Punkte einer und derselben Bahn constant; bezeichnet man denselben zur Abkürzung mit b,* so nimmt die Bewegungsgleichung die Form

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\varphi)^{n-1}} = -a_n b^{n-1} dx$$

an. Die Integration gibt

$$-\frac{1}{n-2}(v\cos\varphi)^{-n+2} = -a_n b^{n-1} x + C;^{**}$$

da für $x = 0$, $v\cos\varphi = V\cos\alpha$ ist, so folgt

$$(v\cos\varphi)^{2-n} = (n-2)a_n b^{n-1} x + (V\cos\alpha)^{2-n}$$

und wegen $v\cos\varphi = \frac{dx}{dt}$.

$$\frac{dx}{dt} = \left[(n-2)a_n b^{n-1} x + (V\cos\alpha)^{2-n}\right]^{\frac{1}{2-n}}$$

Um die Gleichung der Flugbahncurve zu erhalten, muss in der zweiten Bewegungsgleichung, welche wegen $v\sin\varphi = \frac{dy}{dt}$ in

---

* Für kleine Abgangswinkel, bis ungefähr 8°, kann $b = 1$ gesetzt werden; für grössere Winkel erhält man b etwas genauer, wenn man in die obige Formel anstatt α das Mittel zwischen dem Abgangs- und dem Einfallwinkel einsetzt.

** Wenn man den Ausdruck $\frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\varphi)^{n-1}}$ in dieser allgemeinen Form, ohne Rücksicht auf specielle Werthe von n, als Potenzdifferentiale behandelt.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -g - a_n v^n \sin\varphi$$

übergeht, dt durch dx ersetzt werden: hiezu hat man

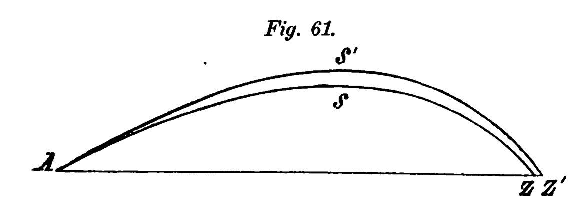
$$\frac{dx^2}{dt^2} = \left[(n-2)a_n b^{n-1} x + (V\cos\alpha)^{2-n}\right]^{\frac{2}{2-n}}$$

womit sich

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -(g + a_n v^n \sin\varphi)\left[(n-2)a_n b^{n-1} x + (V\cos\alpha)^{2-n}\right]^{\frac{2}{n-2}}$$

ergibt. Die einmalige Integration würde auf der linken Seite $\frac{dy}{dx} = tg\varphi$ geben, die zweite Integration auf die Gleichung $y = f(x)$ der Bahncurve führen. Nachdem jedoch ausser den Variablen φ und x, nach welchen die Integrationen auszuführen sind, im Glied $a_n v^n \sin\varphi$ auf der rechten Seite auch die Variable v vorkommt, so müsste sie vor der Integration durch einen φ und x enthaltenden Ausdruck ersetzt werden, was das Problem bedeutend compliciren würde; durch Weglassung von $a_n v^n \sin\varphi$, wenn eine solche statthaft wäre, würde die Auflösung sehr vereinfacht. Hierüber ist Folgendes zu bemerken: Das Glied $a_n v^n \sin\varphi$ bedeutet den Einfluss der Verticalcomponente des Luftwiderstandes auf den Verlauf der Flugbahn; diese Componente wirkt im aufsteigenden Aste der Bahn mit der Schwerkraft, im absteigenden Aste aber gegen die Schwerkraft, bewirkt also, dass sich das Geschoss im ersten Theile der Bahn rascher, im zweiten Theile aber langsamer senkt, als dies ohne Mitwirkung dieser Componente der Fall wäre. Bezeichnet *AS'Z' (Fig. 61)* die Geschossbahn, wie sie sich unter dem Einflusse der Schwerkraft bei Ausserachtlassung der Verticalcomponente des Luftwiderstandes darstellen würde, so müsste die der Wirkung beider Kräfte entsprechende wirkliche Bahn *ASZ* sein. Die Weglassung von $a_n v^n \sin\varphi$ hat daher die Bedeutung, dass der wirklichen Bahn eine etwas höher liegende substituirt wird, wobei der Endpunkt *Z* und die Richtungswinkel in verschiedenen Punkten der Bahn nicht wesentlich alterirt werden, vorausgesetzt, dass der Abstand beider Bahnen nicht sehr beträchtlich ist, was bei nicht zu grossen Elevations-

Fig. 61.



winkeln angenommen werden kann.* Die Weglassung von $a_n v^n \sin\varphi$ erscheint also für Geschütze, die nicht mit grossen Elevationen feuern (Kanonen im Allgemeinen), statthaft; hiedurch vereinfacht sich die obige Differentialgleichung auf

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -g\left[(n-2)a_n b^{n-1}x + (V\cos\alpha)^{2-n}\right]^{\frac{2}{n-2}}.$$

Der für die mathematische Form der Curvengleichung wichtige Exponent $\frac{2}{n-2}$ auf der rechten Seite der Differentialgleichung hat je nach dem gewählten Luftwiderstandsgesetze (n) eine verschiedene Grösse, u. zw. ist, wenn von $n = 1$ abgesehen wird,

für $n = 2$ (quadratisches Gesetz) $\frac{2}{n-2} = \infty$, d. h. für dieses Gesetz ist die Gleichung in der obigen Form überhaupt nicht giltig, nachdem die Integration der ersten Bewegungsgleichung

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\varphi)^{n-1}} = \frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\varphi)} = -\,a_2 b dx$$

schon auf einen Logarithmus führt;

» $n = 3$ (cubisches Gesetz) $\frac{2}{n-2} = 2$

» $n = 4$ (biquadr. Gesetz) $\frac{2}{n-2} = 1$

» $n = 5$ . . . . $\frac{2}{n-2} = \frac{2}{3}$

» $n = 6$ . . . . $\frac{2}{n-2} = \frac{2}{4}$

» $n = 7$ . . . . $\frac{2}{n-2} = \frac{2}{5}$

u. s. f.

Für alle Werthe von $n > 4$ ist $\frac{2}{n-2}$ ein Bruch, es muss demnach das aus der zweimaligen Integration der Differentialgleichung hervorgehende $y = f(x)$

---

* Aus dem zweiten Abschnitte ist bekannt, dass bei rotirenden Langgeschossen die Geschosspitze grösstentheils oberhalb der Bahntangente bleibt und infolge dessen der von unten angreifende Luftwiderstand eine Hebung des Geschosses verursacht, wodurch sich eine höhere Bahn ergibt, als wenn, wie hier im fünften Abschnitte geschehen, der Luftwiderstand in der Bewegungsrichtung (Bahntangente) wirkend angenommen wird; dieser Hebung trägt die Weglassung von $a_n v^n \sin\varphi$ im gewissen Sinne Rechnung, jedoch eigentlich nur im ersten Theile der Bahn. Nachdem diese Hebung auf die ganze Länge der Bahn der Schwerkraft entgegenwirkt, daher den Endpunkt der Bahn weiter verschiebt, so müsste, im Falle die hebende Kraft beträchtlich ist, die Schwerkraft um den Betrag derselben vermindert, also in der Bewegungsgleichung $g - g'$ anstatt g eingeführt werden; es genügt hier, auf diesen Umstand aufmerksam zu machen, die Entwicklung der weiteren Gleichungen erleidet dadurch, insoferne g' als constant angesehen wird, keine Aenderung.

in complicirterer Form erscheinen, als für $n = 3$ und $n = 4$; die einfachste Bahngleichung muss das biquadratische Gesetz geben, weil der Exponent $\frac{2}{n-2} = 1$ ist. —

Bei Annahme des quadratischen Luftwiderstandsgesetzes und Einführung der oben angeführten Abkürzungen sind die Bewegungsgleichungen

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{v\cos\varphi} = -a_2 b dx \text{ und } \frac{d^2y}{dt^2} = -g,$$

wobei a_2 die Reciproke einer Grösse von Einer Dimension bezeichnet. Die Integration der ersten Gleichung gibt

$$Lg(v\cos\varphi) = -a_2 bx + C,$$

und mit Berücksichtigung, dass für $x = 0$, $v = V$ und $\varphi = \alpha$, daher $C = Lg(V\cos\alpha)$ ist,

$$Lg\frac{v\cos\varphi}{V\cos\alpha} = -a_2 bx \text{ oder } \frac{v\cos\varphi}{V\cos\alpha} = e^{-a_2 bx}$$

woraus für die Horizontalcomponente der Geschwindigkeit

$$v\cos\varphi = V\cos\alpha \,.\, e^{-a_2 bx}$$

und für die Tangentialgeschwindigkeit

$$v = V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi} \cdot \frac{1}{e^{a_2 bx}}$$

folgt. Wegen $\frac{dx}{dt} = v\cos\varphi$ ist $\frac{dx^2}{dt^2} = V^2\cos^2\alpha \,.\, e^{-2a_2 bx}$; wird diese Gleichung in $\frac{d^2y}{dt^2} = -g$ dividirt, so ergibt sich

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{g}{V^2\cos^2\alpha} \cdot e^{2a_2 bx}$$

Die Integration dieser Gleichung gibt

$$\frac{dy}{dx} = tg\varphi = C_1 - \frac{g}{V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{e^{2a_2 bx}}{2a_2 b};$$

nachdem für $x = 0$, $\varphi = \alpha$ ist, so ist

$$tg\alpha = C_1 - \frac{g}{V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{1}{2a_2 b},\ C_1 = tg\alpha + \frac{g}{V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{1}{2a_2 b}$$

$$\text{und } \frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{g}{V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{e^{2a_2 bx} - 1}{2a_2 b}$$

$$\text{oder } \frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha} \cdot \frac{e^{2a_2 bx} - 1}{2a_2 bx}$$

als Gleichung für den Richtungswinkel φ.

Durch neuerliche Integration findet man

$$y = x\,tg\,\alpha - \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{e^{2a_2bx}}{4a_2^2b^2} + \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{x}{2a_2b} + C_2,$$

für $x = 0$ ist $y = 0$, daher

$$C_2 = \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{1}{4a_2^2b^2} \text{ und } y = x\,tg\,\alpha - \frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{e^{2a_2bx} - 2a_2bx - 1}{4a_2^2b^2}$$

$$\text{oder } y = x\,tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{e^{2a_2bx} - 2a_2bx - 1}{2a_2^2b^2x}$$

als Gleichung der Flugbahn.

Aus der Gleichung $v\,cos\,\varphi = \frac{dx}{dt} = V cos\,\alpha \,.\, e^{-a_2bx}$ folgt

$dt = \frac{e^{a_2bx}}{V cos\,\alpha} \,.\, dx$; die Integration gibt

$$t = \frac{1}{V cos\,\alpha} \cdot \frac{e^{a_2bx}}{a_2b} + C_3,$$

und da für $x = 0$, $t = 0$, daher $C_3 = -\frac{1}{V cos\,\alpha} \cdot \frac{1}{a_2b}$ ist,

$$t = \frac{1}{V cos\,\alpha} \cdot \frac{e^{a_2bx} - 1}{a_2b} \text{ oder } t = \frac{x}{V cos\,\alpha} \cdot \frac{e^{a_2bx} - 1}{a_2bx}$$

als Gleichung der Flugzeit.

Setzt man $2a_2bx = \omega$, so sind die Fundamentalgleichungen für das quadratische Gesetz

$$y = x\,tg\,\alpha - g\frac{x^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{e^{\omega} - \omega - 1}{\frac{1}{2}\omega^2}, \quad tg\,\varphi = tg\,\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2 \alpha} \cdot \frac{e^{\omega} - 1}{\omega},$$

$$v = V\frac{cos\,\alpha}{cos\,\varphi} \cdot \frac{1}{e^{1/2\omega}}, \quad t = \frac{x}{V cos\,\alpha} \cdot \frac{e^{1/2\omega} - 1}{\frac{1}{2}\omega},$$

daher die modficirenden Functionen für die analogen Gleichungen der Bewegung im leeren Raume

$$\mathfrak{Y} = \frac{e^{\omega} - \omega - 1}{\frac{1}{2}\omega^2}, \quad \mathfrak{F} = \frac{e^{\omega} - 1}{\omega}, \quad \mathfrak{B} = e^{1/2\omega}, \quad \mathfrak{T} = \frac{e^{1/2\omega} - 1}{\frac{1}{2}\omega}.$$

Wird e^{ω} und $e^{1/2\omega}$ nach der Formel

$$e^z = 1 + \frac{z}{1} + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \frac{z^4}{4!} + \dots$$

in eine Reihe aufgelöst, so erhält man für die modificirenden Functionen folgende Werthe:

$$\mathfrak{Y} = 1 + \tfrac{1}{3}\omega + \tfrac{1}{12}\omega^2 + \tfrac{1}{60}\omega^3 + \dots$$

$$\mathfrak{F} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega + \tfrac{1}{6}\omega^2 + \tfrac{1}{24}\omega^3 + \dots$$

$$\mathfrak{B} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega + \tfrac{1}{8}\omega^2 + \tfrac{1}{48}\omega^3 + \dots$$

$$\mathfrak{T} = 1 + \tfrac{1}{4}\omega + \tfrac{1}{24}\omega^2 + \tfrac{1}{192}\omega^3 + \dots$$

Nachdem ω für alle positiven Werthe von x (und nur solche haben einen Sinn) positiv ist,* so wird bezüglich der Functionen $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{V}$ und $\mathfrak{T}$ aus dieser Reihenform klar ersichtlich, dass dieselben stets > 1 sein müssen, wie dies eingangs als allgemeine Eigenschaft derselben angeführt wurde. —

Für das cubische Gesetz ($n = 3$) bestehen die Bewegungsgleichungen

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\varphi)^2} = -a_3 b^2 dx \text{ und } \frac{d^2y}{dt^2} = -g,$$

worin a_3 die Reciproke einer Grösse von zwei Dimensionen bedeutet. Aus der ersten Gleichung folgt durch Integration

$$-\left(\frac{1}{v\cos\varphi} - \frac{1}{V\cos\alpha}\right) = -a_3 b^2 x,$$

daher $v\cos\varphi = \dfrac{V\cos\alpha}{1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha}$, $v = V\dfrac{\cos\alpha}{\cos\varphi} \cdot \dfrac{1}{1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha}$.

Ferner ist $\dfrac{dx^2}{dt^2} = (v\cos\varphi)^2 = \dfrac{V^2\cos^2\alpha}{(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha)^2}$ und hiemit

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{g}{V^2\cos^2\alpha}(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha)^2$$

$$\text{oder } \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{g}{V^2\cos^2\alpha} - \frac{2g a_3 b^2 x}{V\cos\alpha} - g a_3^2 b^4 x^2;$$

die erste Integration liefert für den Richtungswinkel

$$\frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha} - \frac{g a_3 b^2 x^2}{V\cos\alpha} - \tfrac{1}{3} g a_3^2 b^4 x^3$$

$$\text{oder } tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}\left(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha + \tfrac{1}{3} a_3^2 b^4 x^2 V^2 \cos^2\alpha\right),$$

die zweite Integration gibt die Bahngleichung

$$y = x\,tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{2}{3} a_3 b^2 x V\cos\alpha + \tfrac{1}{6} a_3^2 b^4 x^2 V^2\cos^2\alpha\right).$$

Die Flugzeit folgt aus $dt = \dfrac{dx(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha)}{V\cos\alpha}$ durch Integration mit

$$t = \frac{(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha)^2 - 1}{2a_3 b^2 V^2\cos^2\alpha} = \frac{x}{V\cos\alpha}\,\frac{(1 + a_3 b^2 x V\cos\alpha)^2 - 1}{2a_3 b^2 x V\cos\alpha}.$$

Setzt man hier $2a_3 b^2 x V\cos\alpha = \omega$, so sind die Grundgleichungen

$$y = x\,tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{1}{3}\omega + \tfrac{1}{24}\omega^2\right),$$

$$tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{1}{2}\omega + \tfrac{1}{12}\omega^2\right),$$

$$v = V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\omega},\quad t = \frac{x}{V\cos\alpha} \cdot \frac{\left(1 + \frac{1}{2}\omega\right)^2 - 1}{\omega} = \frac{x}{V\cos\alpha}\left(1 + \tfrac{1}{4}\omega\right),$$

somit sind die modificirenden Functionen

---

* Die beiden anderen Factoren von ω: $a = \dfrac{W}{mv^2}$ und b, das Verhältniss der Bahnlänge zur Horizontalprojection derselben, sind selbstverständlich stets positiv.

$$\mathfrak{Y} = 1 + \tfrac{1}{8}\omega + \tfrac{1}{24}\omega^2,$$
$$\mathfrak{F} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega + \tfrac{1}{12}\omega^2,$$
$$\mathfrak{V} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega,$$
$$\mathfrak{T} = 1 + \tfrac{1}{4}\omega.$$

Vergleicht man diese Werthe mit den für das quadratische Gesetz giltigen, so sieht man, dass jeder Ausdruck die ersten zwei Glieder der analogen Reihe des quadratischen Gesetzes enthält.* —

Für das biquadratische Gesetz ($n = 4$) bestehen die Bewegungsgleichungen

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{(v\cos\alpha)^3} = -a_4 b^3 dx \text{ und } \frac{d^2y}{dt^2} = -g,$$

wobei a_4 die Reciproke einer Grösse von drei Dimensionen bezeichnet. Werden diese Gleichungen auf dieselbe Art wie früher behandelt, so erhält man successive

$$\tfrac{1}{2}\left(\frac{1}{v^2\cos^2\varphi} - \frac{1}{V^2\cos^2\alpha}\right) = a_4 b^3 x,$$

$$v\cos\varphi = \frac{V\cos\alpha}{\sqrt{1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha}}, \quad v = V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha}},$$

ferner mit $\dfrac{dx^2}{dt^2} = \dfrac{V^2\cos^2\alpha}{1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha}$ und der zweiten Bewegungsgleichung

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{g}{V^2\cos^2\alpha} - 2ga_4b^3x,$$

die Integration dieser Gleichung gibt

$$\frac{dy}{dx} = tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha} - ga_4b^3x^2 = tg\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}(1 + a_4b^3xV^2\cos^2\alpha),$$

die weitere Integration liefert

$$y = x\,tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha} - \tfrac{1}{3}ga_4b^3x^3 = x\,tg\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{2}{3}a_4b^3xV^2\cos^2\alpha\right).$$

Für die Flugzeit ergibt sich aus

$$dt = \frac{dx\sqrt{1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha}}{V\cos\alpha}$$

durch Integration

$$t = \frac{(1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha)^{3/2}-1}{3a_4b^3V^3\cos^3\alpha} = \frac{x}{V\cos\alpha}\cdot\frac{(1+2a_4b^3xV^2\cos^2\alpha)^{3/2}-1}{3a_4b^3xV^2\cos^2\alpha}.$$

---

* Die Grössen ω, obwol für die beiden Gesetze von einander verschieden, sind nach einerlei Princip gebildet, denn es ist für das quadratische Gesetz $\omega_2 = 2a_2bx = 2\dfrac{W}{mv^2}bx$ und für das cubische Gesetz $\omega_3 = 2a_3b^2xV\cos\alpha = 2\dfrac{W}{mv^3}b^3xV\cos\alpha = 2\dfrac{W}{mv^2}bx\cdot\dfrac{V}{v}\cdot b\cos\alpha = \omega_2\dfrac{V}{v}b\cos\alpha$, und da b den Werth $\dfrac{1}{\cos\varphi}$ repräsentirt, so hat ω_3 die Form $\omega_3 = \omega_2\dfrac{V\cos\alpha}{v\cos\varphi}$, wobei sich $V\cos\alpha$ und $v\cos\varphi$ in ihrer mathematischen Bedeutung entsprechen und daher gegenseitig aufheben.

Wird $2a_4 b^3 x V^2 \cos^2\alpha = \omega$ gesetzt, so sind die Fundamentalgleichungen

$$y = x\,tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{1}{3}\omega\right),\quad tg\,\varphi = tg\,\alpha - \frac{gx}{V^2\cos^2\alpha}\left(1 + \tfrac{1}{2}\omega\right),$$

$$v = V\frac{\cos\alpha}{\cos\varphi}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\omega}},\quad t = \frac{x}{V\cos\alpha}\cdot\frac{(1+\omega)^{3/2}-1}{\frac{3}{2}\omega}$$

und daher die modificirenden Functionen

$$\mathfrak{Y} = 1 + \tfrac{1}{3}\omega,$$

$$\mathfrak{J} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega,$$

$$\mathfrak{B} = \sqrt{1+\omega} = 1 + \tfrac{1}{2}\omega - \tfrac{1}{8}\omega^2 + \tfrac{1}{16}\omega^2 - \ldots .$$

$$\mathfrak{T} = \frac{(1+\omega)^{3/2}-1}{\frac{3}{2}\omega} = 1 + \tfrac{1}{4}\omega - \tfrac{1}{24}\omega^2 + \tfrac{1}{72}\omega^3 - \ldots .$$

Mit den analogen Functionen des quadratischen Gesetzes verglichen, zeigen $\mathfrak{Y}$ und $\mathfrak{J}$ die ersten zwei Glieder der Reihen des quadratischen Gesetzes, bei $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{T}$ sind die ersten zwei Glieder in den Reihen der beiden Gesetze identisch.

Der Vergleich der wirklichen — ballistischen — Flugbahn mit jener im leeren Raume — der parabolischen — ergibt Folgendes:

1.) Aus der grösseren Fallhöhe des Geschosses im Luftraume gegenüber der in derselben Entfernung $= x$ von der Mündung im leeren Raume stattfindenden, in der für alle Werthe von x giltigen Relation $\mathfrak{Y} > 1$ ausgedrückt, folgt unmittelbar, dass die ballistische Bahncurve der ganzen Länge nach unter die parabolische fällt, dass somit durch den Luftwiderstand die Bahn auch in horizontaler Richtung verkürzt wird; es muss also nicht nur die Scheitelhöhe, sondern auch die Scheitel- und die Horizontaldistanz verkleinert werden. Bezeichnet man für den leeren Raum die Horizontaldistanz mit X', die Scheiteldistanz mit S' und die Scheitelhöhe mit Y', ferner die gleichen Grössen in der ballistischen Bahn beziehungsweise mit X, S und Y, so ergibt sich das Verhältniss der analogen Grössen foldendermassen:

für die Horizontaldistanz ist $X' = \frac{V^2}{g}\sin 2\alpha$ und

$$X\mathfrak{Y}_0 = \frac{V^2}{g}\sin 2\alpha,\ \text{somit ist}\ X\mathfrak{Y}_0 = X';$$

für die Scheiteldistanz hat man $S' = \frac{V^2}{2g}\sin 2\alpha$ und

$$S\mathfrak{J}_1 = \frac{V^2}{2g}\sin 2\alpha,\ \text{daher}\ S\mathfrak{J}_1 = S';$$

für die Scheitelhöhe ist $Y' = \frac{S'}{2} tg\,\alpha$ und

$$Y = S\,tg\,\alpha\left(1 - \frac{S\mathfrak{Y}_1}{X\mathfrak{Y}_0}\right) \text{ oder } Y = \frac{S}{2}\,tg\,\alpha\left(2 - \frac{\mathfrak{Y}_1}{\mathfrak{F}_1}\right), \text{ mit } \frac{tg\,\alpha}{2} = \frac{Y^1}{S^1}$$

$$\text{wird } Y = 2Y'\frac{S}{S'}\left(1 - \frac{S\mathfrak{Y}_1}{X\mathfrak{Y}_0}\right) \text{ oder } Y = Y'\frac{S}{S'}\left(2 - \frac{\mathfrak{Y}_1}{\mathfrak{F}_1}\right).$$

Beispiel. Für dieses und alle folgenden Beispiele wird ein 15 ‰ ogivales Langgeschoss vom Gewichte $G = 35 \cdot 2$ kg vorausgesetzt, welches mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $V = 500$ m/s abgeschossen wird und an der Mündung einen specifischen Widerstand von $1 \cdot 05$ kg auf 1 □ cm der Querschnittsfläche erleidet; dies gibt einen Gesammtwiderstand auf das ganze Geschoss von $W = 185 \cdot 55$ kg, und nachdem die Geschossmasse $m = \frac{G}{g} = 3 \cdot 590$ ist, so ist für das quadratische Luftwiderstandsgesetz $a = \frac{W}{mV^2} = 0 \cdot 00020674$.

Mit diesen Daten findet man

	bei $\alpha = 10^0$			bei $\alpha = 30^0$		
	$X = 4340$,	$S = 2488$,	$Y = 257$ m/,	$X = 6597$,	$S = 4040$,	$Y = 1492$ m/,
in der parab. Bahn ist	$X' = 8721$,	$S' = 4360$,	$Y' = 384$ m/,	$X' = 22081$,	$S' = 11041$,	$Y' = 3187$ m/.

In der parabolischen Bahn sind die beiden Bahnäste horizontal gleich lang; nachdem die durch den Luftwiderstand herbeigeführte Verkürzung der Bahn mit der Entfernung von der Mündung zunimmt, so muss der absteigende Ast mehr verkürzt werden als der aufsteigende. Daher ist in der ballistischen Bahn der aufsteigende Ast länger als der absteigende, der Scheitel fällt nicht in die Mitte der Bahn, sondern dem Endpunkte näher als der Mündung, die Scheiteldistanz ist grösser als die halbe Horizontaldistanz.

In den obigen Beispielen wurde gefunden:

für die Elevation	$\alpha =$	10^0	30^0
die Scheiteldistanz	$S =$	2488 m/,	4040 m/,
die halbe Horizontaldistanz	$\frac{X}{2} =$	2170 m/,	3298 m/,
Differenz	$S - \frac{X}{2} =$	318 m/,	742 m/.

2.) Aus $\mathfrak{F} > 1$ folgt für von der Mündung horizontal gleich weit entfernte Punkte $tg\,\varphi < tg\,\varphi'$, wo φ den Richtungswinkel in der ballistischen, φ' jenen in der parabolischen Bahn bezeichnet. So lange φ positiv (im aufsteigenden Ast der ballistischen Bahn), ist $\varphi < \varphi'$, nach dem Ueberschreiten des Scheitels (im absteigenden Ast) der ballistischen Bahn, wo φ negativ wird, ist der negative (von der Horizontalen nach abwärts gezählte) Winkel grösser als der analoge (im gleichen Sinne genommene) Winkel der parabolischen

Bahn. Das Verhältniss zwischen φ und φ' folgt aus $tg\varphi' = tg\alpha . \frac{X'-2x}{X'}$ und $tg\varphi = tg\alpha - \frac{gx}{V^2 cos^2 \alpha}\mathfrak{F}$, wird in der letzteren Gleichung $\frac{g}{V^2 cos^2 \alpha} = 2\frac{tg\alpha}{X\mathfrak{Y}_0}$ eingesetzt, so ist $tg\varphi = tg\alpha\left(1 - 2\frac{x\mathfrak{F}}{X\mathfrak{Y}_0}\right)$ und mit $tg\alpha = tg\varphi' \frac{X'}{X'-2x}$, $tg\varphi = tg\varphi' \frac{X'}{X'-2x}\left(1 - 2\frac{x\mathfrak{F}}{X\mathfrak{Y}_0}\right)$; die Differenz $\varphi' - \varphi$, arithmetisch genommen, wächst mit der Entfernung x des betreffenden Punktes von der Mündung.

Beispiel. Für das oben angeführte 15‰ Geschoss ergeben sich bei einer Elevation von $\alpha = 5^0$ folgende Richtungswinkel:

in der Entfernung	$x =$ 500,	1000,	1500,	2000,	2500,	2863 ᵐ/(X),
	$\varphi =$ 3°48′,	2°13′,	0°18′,	—2° 2′,	—4°54′,	—7°22′,
in der parab. Bahn ist	$\varphi' =$ 3°52′,	2°45′,	1°37′,	+0°29′,	—0°39′,	—1°28′,
Differenz	$\varphi' - \varphi =$ 0° 4′,	0°32′,	1°19′,	2°31′,	4°15′,	5°54′.

Für den Einfallwinkel in der ballistischen Bahn besteht die Gleichung $tg\,\Phi = tg\alpha\left(2\frac{\mathfrak{F}_0}{\mathfrak{Y}_0} - 1\right)$, wird $\mathfrak{F}_0 = \mathfrak{Y}_0 + \frac{X}{2}\mathfrak{Y}'_0$ eingeführt, so ist $tg\,\Phi = tg\alpha\left(1 + X\frac{\mathfrak{Y}'_0}{\mathfrak{Y}_0}\right)$; nachdem $\mathfrak{Y}'_0 > 0$, so muss $1 + X\frac{\mathfrak{Y}'_0}{\mathfrak{Y}_0} > 1$, daher $tg\,\Phi > tg\alpha$ und $\Phi > \alpha$ sein, d. h. der Einfallwinkel ist nicht, wie in der parabolischen Bahn, gleich dem Abgangswinkel, sondern grösser als dieser.

Es ist für	$\alpha =$	5°	10°	30°
der Einfallwinkel	$\Phi =$	7°22′,	17°36′,	54°58′,
Differenz	$\Phi - \alpha =$	2°22′,	7°36′,	24°58′.

3.) Die Tangentialgeschwindigkeit ist im aufsteigenden Ast der ballistischen Bahn gleich wie in der parabolischen eine fortwährend abnehmende, nachdem beide Ursachen für ihre Aenderung: die Schwerkraft und der Luftwiderstand, auf Verminderung derselben wirken. Im absteigenden Ast der ballistischen Bahn wirkt die Schwerkraft auf Vermehrung, der Luftwiderstand auf Verminderung der Geschwindigkeit, der Einfluss der letzteren Kraft ist gleich nach dem Ueberschreiten des Scheitelpunktes überwiegend, daher die Geschwindigkeit noch immer abnehmend; gegen das Ende der Bahn zu kehrt sich bei grösseren Abgangswinkeln das Verhältniss um und es wird die Geschwindigkeit wieder zunehmend. Die Minimalgeschwindigkeit ist daher nicht, wie bei der parabolischen Bahn, im Scheitel, sondern in der Regel in einem Punkte zwischen diesem und dem Endpunkte der Bahn. In diesem letzteren Punkte wird die Schwerkraft einen

Theil der im Aufsteigen verloren gegangenen Geschwindigkeit ersetzt haben; in der parabolischen Bahn ist diese Ersetzung eine vollständige (die Endgeschwindigkeit gleich der Anfangsgeschwindigkeit), in der ballistischen Bahn kann dies wegen der fortgehenden Wirkung des Luftwiderstandes nicht stattfinden, es muss daher die **Endgeschwindigkeit kleiner sein als die Anfangsgeschwindigkeit.**

Beispiel. Bei der Elevation von $\alpha = 10^0$ nimmt die Geschwindigkeit im absteigenden Ast folgenden Verlauf:

es ist für $x = 2488\,^m\!/\,(S),\quad 3000\,^m\!/,\quad 3500\,^m\!/,\quad 4000\,^m\!/,\quad 4340\,^m\!/\,(X),$
$v = \quad 294\,^m\!/,\quad 265\,^m\!/,\quad 241\,^m\!/,\quad 220\,^m\!/,\quad 210\,^m\!/;$

hier nimmt die Geschwindigkeit bis an das Ende der Bahn ab und es ist die Endgeschwindigkeit ($U = 210\,^m\!/$) zugleich Minimalgeschwindigkeit.

Bei der Elevation von $\alpha = 30^0$ ist

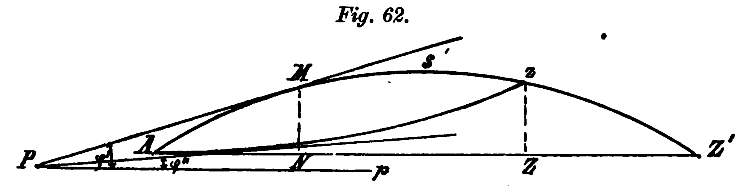
für $x = 4040\,^m\!/\,(S),\quad 5000\,^m\!/,\quad 5500\,^m\!/,\quad 6000\,^m\!/,\quad 6597\,^m\!/\,(X),$
$v = \quad 180\,^m\!/,\quad 156\,^m\!/,\quad 154\,^m\!/,\quad 161\,^m\!/,\quad 179\,^m\!/;$

hier nimmt die Geschwindigkeit anfangs ab, erreicht bei ungefähr $x = 5500\,^m\!/$ das Minimum und nimmt dann wieder zu; die Endgeschwindigkeit ($U = 179\,^m\!/$), obwol grösser als die Minimalgeschwindigkeit, bleibt noch sehr bedeutend gegen die Anfangsgeschwindigkeit ($V = 500\,^m\!/$) zurück. —

Als Resumé aus dem Vorstehenden ergibt sich: Die ballistische Bahn ist niedriger und kürzer als die parabolische, — der Scheitel fällt nicht in die Mitte der Bahn, sondern dem Endpunkte näher als der Mündung, — der aufsteigende Ast ist länger und flacher, der absteigende kürzer und steiler, — der Einfallwinkel ist grösser als der Abgangswinkel, — die Endgeschwindigkeit kleiner als die Anfangsgeschwindigkeit.

Man kann sich den Einfluss des Luftwiderstandes auf die Modification der parabolischen Bahn versinnlichen, wenn man die Bahnparabel $AS'Z'$ (*Fig. 62*),

Fig. 62.



Gleichung $y' = x tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha}$, und eine Curve ANz verzeichnet, deren Gleichung $y'' = \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha}(\mathfrak{Y} - 1)$ ist; nach $y = y' - y''$ bezeichnen die Ordinaten der Curve ANz den durch den Luftwiderstand bedingten Verlust an Steighöhe des Geschosses, die zwischen die beiden Curven fallenden Ordinatenabschnitte MN sind die wirklichen Ordinaten der ballistischen Curve; ZZ' ist der Verlust an horizontaler Schussweite, weil in z $y' = y''$, daher $y = y' - y'' = 0$ ist. Zieht man in einander entsprechenden Punkten M und N der beiden Curven Tangenten an dieselben, so ist der Winkel MPN annähernd genau der Richtungswinkel φ der

ballistischen Curve, denn es ist $\sphericalangle MPp = \varphi'$ ($Pp \parallel AZ$) der Richtungswinkel der parabolischen Bahn und $NPp = \varphi''$ der Richtungswinkel der Curve ANz; für den ersteren ist $tg\,\varphi' = \frac{dy'}{dx}$, für den letzteren $tg\,\varphi'' = \frac{dy''}{dx}$, und da $tg\,\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{dy'}{dx} - \frac{dy''}{dx} = tg\,\varphi' - tg\,\varphi''$, so folgt, wenn $tg\,\varphi' - tg\,\varphi'' = tg(\varphi' - \varphi'')$ gesetzt wird, was bei kleinen Winkeln zulässig, $\varphi = \varphi' - \varphi''$. Der Scheitel der ballistischen Bahn ist jener Punkt, für welchen $\varphi = 0$, $\varphi' = \varphi''$ ist, d. h. wo die beiden Tangenten parallel laufen.

Man kann die ballistische Curve als eine »modificirte Parabel« bezeichnen, nämlich eine solche, welche im Sinne der Curve ANz nach abwärts gebogen wurde.

4.) Dass die Flugzeit für horizontal gleiche Entfernungen in der wirklichen Bahn grösser sein muss als in der parabolischen, ist selbstverständlich und wurde schon eingangs angeführt ($\mathfrak{T} > 1$). Vergleicht man jedoch die totalen Flugzeiten T und T', welche das Geschoss unter ähnlichen Anfangsbedingungen zum Zurücklegen der bezüglichen Horizontaldistanzen X und X' benöthigt, so ist aus $T = \frac{X}{V\cos\alpha} \cdot \mathfrak{T}_0$ und $T' = \frac{X'}{V\cos\alpha}$, $T = T' \frac{X}{X'} \mathfrak{T}_0$ und mit $X' = X\mathfrak{Y}_0$ $T = T' \frac{\mathfrak{T}_0}{\mathfrak{Y}_0}$; da $\mathfrak{T}_0 < \mathfrak{Y}_0$,* so folgt $T < T'$.

Es ist bei	$\alpha =$ 10°	30°
die Horizontaldistanz	$X =$ 4340 $^{m}\!/$,	6597 $^{m}\!/$,
die totale Flugzeit	$T =$ 12·9 Sec.,	34·0 Sec.,
in der parab. Bahn ist für X die Flugzeit	$t'_X =$ 9·4 »	15·2 »
hingegen die totale Flugzeit	$T' =$ 47·7 »	51·0 »

Zwischen den Flugbahnen, welche einem und demselben Geschoss bei einer und derselben Ladung unter verschiedenen Abgangswinkeln zukommen, bestehen folgende bemerkenswerthe Beziehungen:

1.) Mit dem Wachsen des Abgangswinkels α nimmt bis zu einer bestimmten Grenze A die horizontale Schussweite X zu, wornach eine Abnahme der Horizontaldistanz eintritt, bis $\alpha = 90°$ und $X = 0$ wird. Der Abgangswinkel A, welcher der Maximaldistanz X_{max} entspricht, ist nicht wie im luftleeren Raume $= 45°$, sondern in der Regel $< 45°$, denn der im Vergleich zur parabolischen Bahn stattfindende Verlust an Schussweite ist wegen der längeren Einwirkung des Luftwiderstandes bei hohen Würfen grösser als bei niederen; infolge dessen fallen die hohen Würfe näher zusammen als die niederen und es ist der Umfang der Elevationen der hohen

* Dies ersieht man aus den für alle drei in Betracht gezogenen Luftwiderstandsgesetzen aufgestellten Gleichungen für $\mathfrak{Y}$ und $\mathfrak{T}$.

Würfe grösser als jener der niederen, der Uebergang von den letzteren zu den ersteren findet daher vor Erreichung des Winkels von 45° statt.

Die ebenfalls durch den Luftwiderstand hervorgerufene Verschiedenheit zwischen dem Einfallwinkel Φ und dem Abgangswinkel α ist durch $tg\,\Phi - tg\,\alpha = X\frac{\mathfrak{Y}'_0}{\mathfrak{Y}_0}\,tg\,\alpha$ ausgedrückt; diese Differenz nimmt mit der Schussdistanz zu, ist also, so lange die Horizontaldistanzen mit den Abgangswinkeln wachsen (für niedere Würfe) um so grösser, je grösser α ist. Aus der grösseren Differenz $tg\,\Phi - tg\,\alpha$ folgt nicht unmittelbar eine grössere Differenz der Winkel $\Phi - \alpha$, nachdem die Tangenten im grösseren Grade zunehmen als die Winkel, sondern es wird bei Distanzen, welche sich der Maximaldistanz nähern, dem Wachsen der Distanz eine Abnahme der Winkeldifferenz $\Phi - \alpha$ entsprechen. Für hohe Würfe wird mit dem Wachsen von α um so mehr eine Abnahme der Differenz $\Phi - \alpha$ eintreten. Hieraus folgt: Der Unterschied zwischen dem Einfall- und dem Abgangswinkel nimmt beim Wachsen von α anfangs zu, erreicht noch früher als die Horizontaldistanz sein Maximum und nimmt sodann wieder ab, bis $\alpha = 90°$, daher $\Phi - \alpha = 0$ wird.

Aehnlich verhält es sich auch mit der Endgeschwindigkeit $U = V\frac{\cos\alpha}{\cos\Phi}\cdot\frac{1}{\mathfrak{B}_0}$, welche wegen $\mathfrak{B}_0 = \psi'_0(X)$ einerseits von der Horizontaldistanz X, andererseits von dem Verhältnisse $\frac{\cos\alpha}{\cos\Phi}$ abhängt; anfänglich, so lange der Unterschied zwischen Φ und α klein ist, wird der Einfluss der zunehmenden Distanz überwiegen und die Endgeschwindigkeit abnehmen, — bei grösseren Abgangswinkeln wird wegen der grösseren Verschiedenheit von Φ und α der Einfluss von $\frac{\cos\alpha}{\cos\Phi}$ überwiegend und daher U noch vor dem Erreichen der Maximaldistanz zunehmend; es wird daher das Minimum der Endgeschwindigkeit ebenfalls **nicht** mit dem Maximum der Distanz zusammenfallen, sondern früher als dieses eintreten.

Im obigen Beispiel ist

bei $\alpha =$	10°	20°	30°	35°	40°	45°
$X =$	$4340^{m}/$,	$5909^{m}/$,	$6597^{m}/$,	$6725^{m}/$,	$6731^{m}/$,	$6485^{m}/$,
$\Phi - \alpha =$	7° 36′,	18° 54′,	24° 58′,	25° 48′,	25° 31′,	24° 36′,
$U =$	$210^{m}/$.	$173^{m}/$.	$179^{m}/$,	$188^{m}/$,	$198^{m}/$.	$207^{m}/$.

Das Maximum der Horizontaldistanzen findet daher bei ungefähr $\alpha = 40°$, das Maximum der Differenz $\Phi - \alpha$ bei ungefähr $\alpha = 35°$, das Minimum der Endgeschwindigkeit bei ungefähr $\alpha = 20°$ statt.

Zieht man nur kleine Abgangswinkel, wie sie bei Schiessgeschützen (Kanonen) in der Praxis vorkommen, in Betracht, so kann als allgemeine Regel gelten: Mit dem Wachsen des Abgangswinkels nimmt die Horizontaldistanz und die Differenz zwischen dem Einfall- und dem Abgangswinkel zu, die Endgeschwindigkeit aber ab.

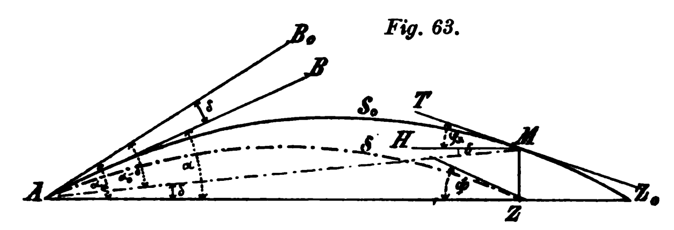


Fig. 63.

2.) Der Punkt $M(x, y)$ *(Fig. 63)*, einer Bahn AS_0Z_0, für welche der Abgangswinkel $= \alpha_0$ und die horizontale Schussweite $= X_0$ ist, ist durch die Gleichung

$$y = x tg\, \alpha_0 - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha_0} \mathfrak{Y} = \frac{x}{2 cos^2 \alpha_0} \left[sin\, 2\alpha_0 - \frac{gx}{V^2} \mathfrak{Y} \right]$$

bestimmt. Für $x = AZ$ als horizontale Schussweite der Bahn ASZ mit dem Abgangswinkel α besteht die Gleichung

$$tg\, \alpha = \frac{gx}{2V^2 cos^2 \alpha} \mathfrak{Y} \text{ oder } sin\, 2\alpha = \frac{gx}{V^2} \mathfrak{Y};$$

wird dies in die obige Gleichung substituirt, so folgt

$$y = \frac{x}{2 cos^2 \alpha_0} (sin\, 2\alpha_0 - sin\, 2\alpha).$$

Liegt der Punkt Z nahe an Z_0, was bei geringer Höhe des Punktes M über AZ_0 der Fall sein wird, so kann ohne grossen Fehler $\frac{sin\, 2\alpha}{2 cos^2 \alpha_0} = tg\, \alpha$ gesetzt werden, womit sich $y = x(tg\, \alpha_0 - tg\, \alpha)$ oder annähernd $y = x tg(\alpha_0 - \alpha)$ ergibt. Verbindet man M mit A und bezeichnet den Winkel MAZ mit ϑ, so ist $\frac{y}{x} = tg\, \vartheta = tg(\alpha_0 - \alpha)$ und daher $\vartheta = \alpha_0 - \alpha$. Denkt man sich die Bahn ASZ um den Winkel ϑ nach aufwärts geschwenkt, so fällt der Punkt Z auf M, die Grundlinie AZ der Bahn auf AM, die Abgangsrichtung AB auf jene AB_0 der Bahn AS_0Z_0, daher die Bahn ASZ selbst in jene AS_0Z_0, von welcher sie alsdann den Theil AS_0M bildet. Es lässt sich also einerseits jede Flugbahn ASZ als Theil einer anderen, grösseren AS_0MZ_0 betrachten, wenn die horizontalen Schussweiten nicht viel von einander verschieden sind; andererseits kann jede Schussweite überhaupt, d. h. die Entfernung eines zu treffenden

Punktes von der Mündung, wenn die Höhe dieses Punktes ober oder unter der Horizontalen nicht gross ist, als horizontale Schussdistanz angesehen werden, wobei nur der Abgangswinkel nicht von der Horizontalen, sondern von der Verbindungslinie des Treffpunktes mit dem Mündungsmittelpunkte, als der Grundlinie des Schusses, gerechnet wird. Der Winkel ϑ, welchen die Grundlinie des Schusses mit der Horizontalen einschliesst, wird *Positionswinkel* des Treffpunktes, der Winkel $\alpha_0 - \vartheta$ der corrigirte oder relative Abgangswinkel genannt.

Beispiel. In der Flugbahn, welcher der Abgangswinkel $\alpha_0 = 5^0$ und die Horizontaldistanz $X_0 = 2863$ m/ zukommt, hat der Punkt, dessen horizontale Entfernung von der Mündung $x = 2700$ m/ ist, eine Höhe von $y = 19{\cdot}4$ m/ über der Horizontalen, es ist daher der Positionswinkel dieses Punktes $\vartheta = 24'15''$ und $\alpha_0 - \vartheta = 4^0 35' 15''$; der Horizontaldistanz $X = 2700$ m/ entspricht ein Abgangswinkel $\alpha = 4^0 35' 3''$, man begeht demnach, wenn man anstatt des richtigen relativen Abgangswinkels $\alpha_0 - \vartheta$ den Winkel α, welcher $X = 2700$ m/ als Horizontaldistanz zukommen würde, nimmt, einen Fehler von $12''$.

Dass in dem Bahnstück AS_0M auch der auf die Grundlinie des Schusses bezogene — relative — Einfallwinkel AMT nur wenig von dem Einfallwinkel der Bahn ASZ abweicht, geht aus Folgendem hervor: Zieht man HM parallel zu AZ, so besteht der Winkel AMT aus dem Richtungswinkel $TMH = \varphi_x$ im Punkte M und aus dem Positionswinkel ϑ; für φ_x gilt die Gleichung $tg\,\varphi_x = \frac{gx}{V^2 cos^2 \alpha_0} \cdot \mathfrak{J} - tg\,\alpha_0$, und da $tg\,\vartheta = tg\,\alpha_0 - \frac{gx}{2V^2 cos^2 \alpha_0}\,\mathfrak{Y}$, so ist die Summe $tg\,\varphi_x + tg\,\vartheta$, wofür auch $tg\,(\varphi_x + \vartheta)$ gesetzt werden kann, $tg\,(\varphi_x + \vartheta) = \frac{gx}{2V^2 cos^2 \alpha_0}(2\mathfrak{J} - \mathfrak{Y})$, — für den Einfallwinkel Φ der Bahn ASZ besteht die Gleichung $tg\,\Phi = \frac{gx}{2V^2 cos^2 \alpha}(2\mathfrak{J} - \mathfrak{Y})$. Ohne grossen Fehler kann $\frac{1}{cos^2 \alpha_0}(2\mathfrak{J} - \mathfrak{Y}) = \frac{1}{cos^2 \alpha}(2\mathfrak{J} - \mathfrak{Y})$ gesetzt werden, wodurch $tg(\varphi_x - \vartheta) = tg\,\Phi$, daher $\varphi_x + \vartheta = \Phi$ wird.

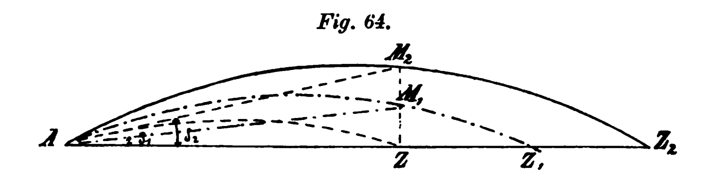
Dasselbe gilt auch bezüglich der Geschwindigkeit v_x im Punkte M und der Endgeschwindigkeit U in der Bahn ASZ, sowie bezüglich der Flugzeiten t_x (in M) und T (in Z); denn es ist $v_x = V\frac{cos\,\alpha_0}{cos\,\varphi_x} \cdot \frac{1}{\mathfrak{V}}$, $U = V\frac{cos\,\alpha}{cos\,\Phi} \cdot \frac{1}{\mathfrak{V}}$, sowie $t_x = \frac{x}{V cos\,\alpha_0} \cdot \mathfrak{T}$, $T = \frac{x}{V cos\,\alpha}\mathfrak{T}$, und es kann ohne grossen Fehler $\frac{cos\,\alpha_0}{cos\,\varphi_x} \cdot \frac{1}{\mathfrak{V}} = \frac{cos\,\alpha}{cos\,\Phi} \cdot \frac{1}{\mathfrak{V}}$, $\frac{\mathfrak{T}}{cos\,\alpha_0} = \frac{\mathfrak{T}}{cos\,\alpha}$ gesetzt werden.

Im obigen Beispiel ist für $x = 2700$ m/

$\varphi_x = 6^0\,13'\,3''$, daher $\varphi_x + \vartheta$	$= 6^0\,37'\,48''$,	$v_x = 286 \cdot 5$ m/,	$t_x = 7 \cdot 262$ Sec.,
hingegen ist	$\Phi = 6^0\,36'\,51''$,	$U = 286 \cdot 9$ m/,	$T = 7 \cdot 257$ »
daher Differenz	$57''$	$0 \cdot 4$ m/	$0 \cdot 005$ Sec.

3.) Für sehr flache Flugbahnen kann das in 2.) ausgeführte Princip des Schwenkens der Bahn zu folgender allgemeinen Regel erweitert werden: Jede Flugbahn kann als Theil einer anderen, einem grösseren Abgangswinkel entsprechenden Bahn angesehen werden, und umgekehrt: In jeder Bahn sind alle, kleineren Abgangswinkeln zukommenden Bahnen als Theile der Hauptbahn enthalten.

Fig. 64.



Das erstere ist in *Fig. 64* graphisch ausgedrückt und bedeutet, dass die Flugbahn AZ beliebig hoch (mit dem Endpunkte Z bis $M_1 M_2 \ldots$) innerhalb des Umfanges der flachen Bahnen, für welche diese Regel gilt, d. h. um einen beliebigen kleinen Winkel $\vartheta_1 \vartheta_2 \ldots$ geschwenkt werden kann, ohne dass sich die Verhältnisse derselben wesentlich ändern. Hieraus folgt, dass (innerhalb der Höhe der »flachen Flugbahnen«) für alle in einer Verticallinie liegenden Treffpunkte $Z M_1 M_2 \ldots$ die auf die jedesmalige Grundlinie des Schusses $AZ, AM_1, AM_2 \ldots$. bezogenen — relativen — Abgangs- und Einfallwinkel sowie die Endgeschwindigkeiten und Flugzeiten annähernd gleich sind.

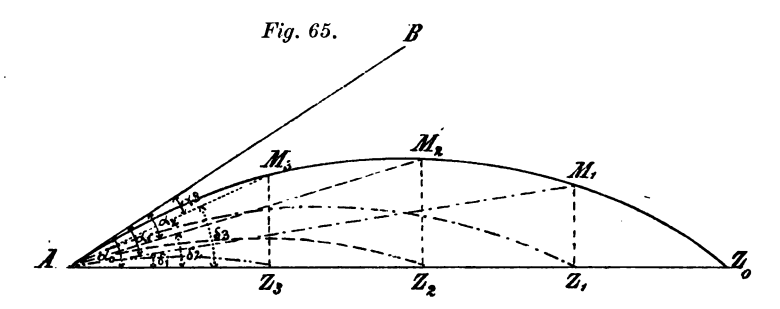
Beispiel. Für $X = 2000$ m/ als Horizontaldistanz entspricht ein Abgangswinkel $\alpha_0 = 3^0\,1'\,31''$; hat ein in derselben horizontalen Entfernung von der Mündung liegender Punkt

die Höhe	$y =$	10 m/,	20 m/,	30 m/,	50 m/,	100 m/,
so ist der Abg.-Winkel der durch denselben gehenden Bahn	$\alpha =$	$3^0\,18'\,45''$,	$3^0\,36'\,0''$,	$3^0\,53'\,14''$,	$4^0\,27'\,43''$,	$5^0\,53'\,49''$,
der Positionswinkel ist	$\vartheta =$	$17'\,11''$,	$34'\,23''$,	$51'\,34''$,	$1^0\,25'\,56''$,	$2^0\,51'\,45''$,
daher ist der relative Abgangswinkel	$\alpha - \vartheta =$	$3^0\,1'\,34''$,	$3^0\,1'\,37''$,	$3^0\,1'\,40''$,	$3^0\,1'\,47''$,	$3^0\,2'\,4''$,
somit beträgt die Differenz gegen	α_0	$3''$,	$6''$,	$9''$,	$16''$,	$33''$.

Man würde also auf dieser Distanz, selbst wenn man einen 100 $^{m}/$ hohen Punkt als im Mündungshorizont liegend betrachten würde, nur einen Fehler von ungefähr $^{1}/_{2}'$ im Abgangswinkel begehen.

Die zweite der oben angeführten Regeln ist in *Fig. 65* dargestellt: Die Flugbahnen $AZ_1, AZ_2, AZ_3 \ldots$, denen die Abgangswinkel

Fig. 65.

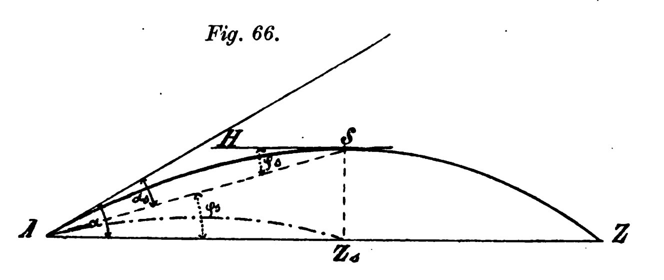


$\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \ldots$ und die Horizontaldistanzen $X_1\, X_2\, X_3 \ldots$ zukommen, sind um die Positionswinkel $\vartheta_1\, \vartheta_2\, \vartheta_3 \ldots$ hinaufgeschwenkt und bilden die Theile AM_1, AM_2, $AM_3 \ldots$ der Bahn AZ_0, deren Abgangswinkel α_0 und deren Horizontaldistanz X_0 ist. Nachdem $\alpha_1 + \vartheta_1 = \alpha_2 + \vartheta_2 = \alpha_3 + \vartheta_3 = \ldots = \alpha_0$ ist, so muss, wenn $\sphericalangle BAZ_0 = \alpha_0$ ist, $BAM_1 = \alpha_0 - \vartheta_1 = \alpha_1$, $BAM_2 = \alpha_0 - \vartheta_2 = \alpha_2 \ldots$ sein.

Dies bietet ein Mittel an die Hand, eine flache Flugbahn annähernd richtig zu verzeichnen, wenn Abgangswinkel und Horizontaldistanz sowol dieser als einiger anderer kürzerer Bahnen bekannt sind. Macht man (im angenommenen Masstab) $AZ_0 = X_0$, so sind A und Z_0 Anfangs- und Endpunkt der Bahn; um andere Punkte der Bahn zu erhalten, wird AB unter dem Winkel α_0 gegen AZ_0 gezogen, dann werden von AB die Abgangswinkel der kürzeren Bahnen $\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \ldots$ aufgetragen und die Strahlen AM_1, AM_2, $AM_3 \ldots$ gezogen, ferner werden auf AZ_0 die Horizontaldistanzen $X_1\, X_2\, X_3 \ldots$ von A aus abgesteckt und in den bezüglichen Punkten $Z_1\, Z_2\, Z_3 \ldots$ Senkrechte errichtet: Die Schnittpunkte derselben mit den Strahlen AM sind die gesuchten Punkte der Bahn, welche unter einander und mit den Punkten A und Z_0 durch eine continuirliche Curve verbunden werden.

Verbindet man den Scheitel S einer Bahn ASZ *(Fig. 66)*, deren Abgangswinkel $= \alpha$ und deren Horizontaldistanz $= X$ ist, mit dem

Fig. 66.



Ursprung A, so bildet AS die um den Winkel $SAZ = \varphi_s$ hinaufgeschwenkte Flugbahn AZ_s vom Abgangswinkel α_s, deren Horizontaldistanz X_s gleich ist der Scheiteldistanz S der Bahn AZ; nachdem $\alpha_s + \varphi_s = \alpha$ und φ_s gleich ist dem Einfallwinkel HSA der Bahn AS, beziehungsweise AZ_s, so ergibt sich als Folgerung: Die Scheiteldistanz einer Bahn vom Abgangswinkel α ist gleich der Horizontaldistanz jener kürzeren Bahn, für welche die Summe des Abgangs- und des Einfallwinkels $= \alpha$ ist.

Die »flachen Flugbahnen«, für welche die vorstehend angeführten einfachen Relationen gelten, können bis ungefähr $\alpha = 8^0$ bis 10^0 gehend angenommen werden. —

Einfluss der Geschossconstruction und des Geschossgewichtes. Bei der Bewegung im leeren Raume hängt die Horizontaldistanz sowie alle mit derselben im Zusammenhang stehenden Factoren nur von der Anfangsgeschwindigkeit V und dem Abgangswinkel α ab, — Form, Dimensionen und Gewicht des Geschosses sind durchaus gleichgiltig hiebei. Bei der Bewegung im Luftraume hingegen treten diese Momente nebst V und α als wesentlich massgebend auf. Denn in der Grösse $a_n v^n = \frac{W}{m} = g\frac{W}{G}$, welche die durch den Luftwiderstand hervorgerufene Verzögerung des Geschosses in der jeweiligen Bewegungsrichtung, die lineare Verzögerung, ausdrückt, welch' letztere die Abweichungen der ballistischen Bahn von der parabolischen (Verkürzung der Schussweite, Verkleinerung der Endgeschwindigkeit, Vergrösserung des Einfallwinkels etc.) bedingt, ist W, die Grösse des Luftwiderstandes, von der Form und der Querschnittsdimension des Geschosses abhängig, während G das Geschossgewicht bedeutet. Bezeichnet $\mathfrak{W} = \frac{W}{r^2\pi}$ den specifischen Luftwiderstand auf das Geschoss und $\mathfrak{G} = \frac{G}{r^2\pi}$ die specifische Querschnittsbelastung, so ist die lineare Verzögerung $\mathfrak{g} = a_n v^n = g\frac{\mathfrak{W}}{\mathfrak{G}}$; bedeutet ferner $\varLambda = 2r \cdot \gamma$ die Länge eines Cylinders, welcher denselben Querschnitt und dasselbe Volum wie das Geschoss hat, $\varDelta$ die durchschnittliche Dichte der Geschossmasse,* so ist das Geschossgewicht $G = r^2\pi\varLambda\varDelta = 2r^3\pi\gamma\varDelta$, die specifische Querschnittsbelastung $\mathfrak{G} = 2r\gamma\varDelta$ und die

* Die Geschossmasse in dem ganzen Volumen gleichmässig vertheilt gedacht; für Vollgeschosse ist Δ die wirkliche Dichte des Geschossmaterials, für Hohlgeschosse aber kleiner als diese (siehe dritter Abschnitt).

lineare Verzögerung $\mathfrak{g} = g \cdot \frac{\mathfrak{W}}{2r\gamma\Delta}$, oder wenn der Geschossdurchmesser, Kaliber, $D = 2r$ eingeführt wird, $\mathfrak{g} = g\frac{\mathfrak{W}}{D\gamma\Delta}$. Nehmen für zwei verschiedene Geschosse die Grössen $\mathfrak{W}$, D, γ, Δ beziehungsweise die Werthe $\mathfrak{W}_1, D_1, \gamma_1, \Delta_1$ und $\mathfrak{W}_2, D_2, \gamma_2, \Delta_2$ an, so ist das Verhältniss der linearen Verzögerungen $\frac{\mathfrak{g}_1}{\mathfrak{g}_2} = \frac{\mathfrak{W}_1}{\mathfrak{W}_2} \cdot \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \cdot \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$, d. h. die durch den Luftwiderstand hervorgebrachten linearen Verzögerungen zweier Geschosse verhalten sich direct wie die specifischen Luftwiderstände und verkehrt wie die Kaliber, die relativen (cylindrisch auf den Kaliber reducirten) Längen und die durchschnittlichen Dichten der Geschossmassen. Nachdem eine kleinere lineare Verzögerung, als geringere Abweichung der ballistischen Factoren von den analogen parabolischen bedingend, von Vortheil ist, so drückt die obige Relation die Vortheilhaftigkeit der für das Ueberwinden des Luftwiderstandes günstig construirten Geschosse (Geschossköpfe), grosser Kaliber, grosser Geschosslängen und grosser Dichten des Geschossmaterials aus.*

Bezüglich des specifischen Widerstandes ist zu bemerken, dass derselbe nicht nur von der Form des Geschosses, sondern auch von der Geschwindigkeit abhängt, dass daher bei einem und demselben Geschosse die wirklichen Flugbahnen um so mehr von den parabolischen abweichen werden, je grösser die Anfangsgeschwindigkeit ist. Nach Versuchen können für vollkommen cylindrische, kugelförmige und ogivale Geschosse von der gebräuchlichen Construction ungefähr folgende specifische Widerstände in Kilogramm pro Quadratcentimeter des Geschossquerschnittes angenommen werden, u. z.:

bei einer Geschwindigkeit von	200 $^{m}/$	250 $^{m}/$	300 $^{m}/$	350 $^{m}/$	400 $^{m}/$	450 $^{m}/$	500 $^{m}/$
für ein cylindrisches Geschoss	0·12,	0·28,	0·53,	0·85,	1·22,	1·62,	2·02,
» » kugelförmiges »	0·10,	0·19,	0·38,	0·64,	0·92,	1·21,	1·51,
» » ogivales »	0·07,	0·10,	0·19,	0·45,	0·68,	0·86,	1·05.

Um den Einfluss der Form des Geschosses bei gleichbleibender Geschwindigkeit zu zeigen, soll mit dem ogivalen 15 $^{c}/_{m}$ Geschoss, welches zu den früheren Beispielen gedient hatte, ein cylindrisches Geschoss von demselben Kaliber und Gewichte verglichen werden; dieses letztere Geschoss erleidet, bei $V = 500$ $^{m}/$ Anfangeschwindigkeit, an der Mündung einen specifischen Widerstand von 2·02 $^{k}/_{g}$, daher einen Gesammtwiderstand von 356·96 $^{k}/_{g}$. Bei einem Abgangswinkel von $\alpha = 10^0$ beträgt

	X	U
für ein Geschoss im leeren Raume	8721 $^{m}/$,	500 $^{m}/$,
» das ogivale 15 $^{c}/_{m}$ Geschoss	4340 $^{m}/$,	210 $^{m}/$,
» » cylindrische »	3130 $^{m}/$,	151 $^{m}/$.

* Siehe zweiter Abschnitt.

folglich wird durch den Luftwiderstand die Schussweite beim ogivalen Geschoss um 4381 $^m/$ oder ungefähr 50 %, beim cylindrischen Geschosse um 5589 $^m/$ oder nahezu 64 % verkürzt; das ogivale Geschoss hat auf 4340 $^m/$ Distanz noch eine Geschwindigkeit von 210 $^m/$, das cylindrische aber auf der beträchtlich kürzeren Distanz von 3130 $^m/$ nur eine Geschwindigkeit von 151 $^m/$.

Der Einfluss der Geschwindigkeit beim Gleichbleiben aller übrigen Factoren geht aus Folgendem hervor: Das ogivale 15 $^c/_m$ Geschoss von 35·2 $^k/_g$ Gewicht, mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $V = 250$ $^m/$ abgeschossen, erleidet an der Mündung einen specifischen Widerstand von 0·10 $^k/_g$, daher einen Gesammtwiderstand von 17·67 $^k/_g$. Bei dieser Geschwindigkeit und der Elevation von 10° ist

$$X = 1964\,^m/, \quad U = 215\,^m/,$$

im leeren Raume wäre $X' = 2180$ $^m/$, $U' = 250$ $^m/$,

folglich verliert das Geschoss durch den Luftwiderstand an Distanz 216 $^m/$ oder 10 % (gegen 50 % bei 500 $^m/$ Anfangsgeschwindigkeit)* und an Endgeschwindigkeit 35 $^m/$ (gegen 290 $^m/$ bei $V = 500$ $^m/$).

Ueber den Einfluss des Kalibers möge folgendes Beispiel Aufschluss geben: Mit dem zu obigen Beispielen verwendeten ogivalen 15 $^c/_m$ Geschoss ($D_0 = 15$ $^c/_m$) vom Gewichte $G_0 = 35·2$ $^k/_g$ sind zwei andere Geschosse von ganz gleicher Construction und auch aus demselben Material erzeugt, nur sind ihre Kaliber $D_1 = 2D_0 = 30$ $^c/_m$ und $D_2 = \frac{1}{2} D_0 = 7·5$ $^c/_m$, infolge dessen die Gewichte $G_1 = 8G_0 = 281·6$ $^k/_g$ und $G_2 = \frac{1}{8} G_0 = 4·4$ $^k/_g$; alle drei Geschosse erleiden bei derselben Geschwindigkeit einen und denselben specifischen Widerstand, jedoch verhalten sich die Gesammtwiderstände wie $4 : 1 : \frac{1}{4}$ und betragen an der Mündung für die Anfangsgeschwindigkeit $V = 500$ $^m/$ beziehungsweise $W_1 = 742·2$ $^k/_g$, $W_0 = 185·55$ $^k/_g$, $W_2 = 46·39$ $^k/_g$. Bei einem Abgangswinkel von $\alpha = 10°$ beträgt die Horizontaldistanz X und die Endgeschwindigkeit U

für das Geschoss vom Kaliber $D_1 = 30$ $^c/_m$.. $X = 5660$ $^m/$, $U = 282$ $^m/$,
» » » » » $D_0 = 15$ $^c/_m$.. $X = 4340$ $^m/$, $U = 210$ $^m/$,
» » » » » $D_2 = 7·5$ $^c/_m$.. $X = 3066$ $^m/$, $U = 148$ $^m/$.

Der Unterschied ist, besonders zwischen den beiden extremen Kalibern, ein sehr beträchtlicher: Das 30 $^c/_m$ Geschoss erreicht bei derselben Elevation und Anfangsgeschwindigkeit eine fast doppelt so grosse Schussweite, wie das 7·5 $^c/_m$ Geschoss, und hat selbst auf dieser grösseren Distanz noch eine fast doppelt so grosse Geschwindigkeit, wie das 7·5 $^c/_m$ Geschoss auf der kürzeren. —

Die Factoren Δ und γ begründen, wenn man nur die specifische Querschnittsbelastung ins Auge fasst, folgende Unterscheidungen:

---

* Aus diesem Beispiel wird auch ersichtlich, dass in Bezug auf Schussweite eine grössere Anfangsgeschwindigkeit weniger günstig ausgenützt wird, als dies bei der Bewegung im leeren Raume der Fall wäre; denn während im leeren Raume die doppelte Anfangsgeschwindigkeit eine vierfache Schussweite (8721 $^m/$ bei $V = 500$ $^m/$ gegen 2180 $^m/$ bei $V = 250$ $^m/$) zur Folge hätte, wird diese in der Wirklichkeit durch die doppelte Geschwindigkeit nur ungefähr verdoppelt (4340 $^m/$ gegen 1964 $^m/$).

Bezüglich der durchschnittlichen Massendichte Δ: gleiches Kaliber und vollkommen gleiche Construction (gleiches Volumen), Unterschied: Geschossmaterial, — das schwerere Material im Vortheil (z. B. Blei gegen Eisen, Stahl gegen Gusseisen); — ferner gleiches Kaliber, gleiche äussere Construction und Material vom gleichen specifischen Gewicht, Unterschied: Grösse der Aushöhlung, — kleinere Aushöhlung im Vortheil (Vollgeschosse gegen Hohlgeschosse, Panzergeschosse gegen Zündergranaten);

bezüglich der relativen Länge γ: gleiches Kaliber, gleiches Geschossmaterial und gleiche principielle Construction, Unterschied: absolute Geschosslänge, — das längere Geschoss im Vortheil; ferner gleiches Kaliber, gleiche durchschnittliche Massendichte und gleiche absolute Länge, Unterschied: Form des Geschosses, — Cylinder im Vortheil gegen das Ogivalgeschoss, dieses gegen die Kugel.

Das letztere drückt aus, dass bezüglich der specifischen Querschnittsbelastung schon das Ogivalgeschoss von derselben Länge wie die Kugel (1 Kaliber) gegen diese im Vortheil wäre; dieser Vortheil ist daher um so grösser bei den Ogivalgeschossen von der gebräuchlichen Länge ($2^1/_2$ bis 3 Kaliber). Hiezu tritt noch der Unterschied des specifischen Widerstandes zu Gunsten des Ogivalgeschosses.

Mit Berücksichtigung dieses letzteren Momentes hat man das Verhältniss der linearen Verzögerung beim Rundgeschosse $\mathfrak{g}_r$ zu jener beim ogivalen Langgeschosse $\mathfrak{g}_o$, wenn beide denselben Kaliber und dieselbe durchschnittliche Massendichte haben, die specifischen Widerstände aber $\mathfrak{W}_r$ und $\mathfrak{W}_o$, die relativen Längen $\gamma_r = \frac{2}{3}$ und γ_o sind, $\frac{\mathfrak{g}_r}{\mathfrak{g}_o} = \frac{\mathfrak{W}_r}{\mathfrak{W}_o} \cdot \frac{\gamma_o}{\gamma_r} = \frac{3}{2}\gamma_o \cdot \frac{\mathfrak{W}_r}{\mathfrak{W}_o}$. Bei einem Ogivalgeschoss, dessen Spitze mit dem Radius von zwei Kaliber abgerundet ist, hat die Spitze eine Höhe von 1·323 Kaliber und ein Volumen wie ein Cylinder von 0·7337 Kaliber Länge; ist die ganze Länge des Geschosses $2^3/_4$ Kaliber, so ist der cylindrische Theil 1·427 Kaliber lang, daher ist für ein solches Geschoss $\gamma_o = 0{\cdot}7337 + 1{\cdot}427 = 2{\cdot}1607$ und $\frac{\mathfrak{g}_r}{\mathfrak{g}_o} = 3{\cdot}241 \frac{\mathfrak{W}_r}{\mathfrak{W}_o}$. Nimmt man das Gewicht von 1 $\bigcirc$ d/m Eisen mit rund 8 k/g an, so hat eine 15 c/m volle Rundkugel aus diesem Material ein Gewicht von 14·14 k/g und ein wie vorstehend angegeben construirtes 15 c/m ogivales Vollgeschoss ein Gewicht von 3·241 × 14·14 = 45·82 k/g. Bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 500 m/ erleidet die Kugel an der Mündung einen specifischen Widerstand von 1·51 k/g und das Ogivalgeschoss einen solchen von 1·05 k/g, daher sind die Gesammtwiderstände beziehungsweise 266·8 k/g und 185·55 k/g. Setzt man wieder $\alpha = 10^0$ voraus, so sind Horizontaldistanz X und Endgeschwindigkeit U

für die 15 c/m Vollkugel	$X = 2167$ m/,	$U = 109$ m/,
» das 15 c/m ogivale Vollgeschoss	$X = 4850$ m/,	$U = 237$ m/,

folglich erreicht das Ogivalgeschoss bei gleicher Elevation eine mehr als doppelt so grosse Horizontaldistanz wie die Kugel und hat auf dieser Distanz eine mehr als doppelte Endgeschwindigkeit wie die Kugel auf der kürzeren. Noch ersichtlicher wird der Unterschied, wenn beim Vergleich von bestimmten Distanzen ausgegangen wird:

Auf der Distanz	$X = 1000$ m/	$X = 2000$ m/
ist für die Vollkugel	$\alpha = 2^\circ\ 1'$, $\Phi = 3^\circ 16'$, $U = 238$ m/,	$\alpha = 8^\circ\ 2'$, $\Phi = 19^\circ 44'$, $U = 119$ m/,
„ das ogivale Vollgeschoss	$\alpha = 1^\circ 15'$, $\Phi = 1^\circ 24'$, $U = 427$ m/,	$\alpha = 2^\circ 49'$, $\Phi = 3^\circ 29'$, $U = 364$ m/.

Die Maximaldistanz ist bei der Kugel ungefähr 2800 m/, beim Ogivalgeschoss 7900 m/.

III. Ermittlung der ballistischen Constanten, Portéeschiessen.

Um die aufgestellten Gleichungen zur Lösung von Fragen des praktischen Schiessens verwenden zu können, müssen in jedem concreten Falle vorher diejenigen Grössen festgestellt werden, welche durch die äusseren Umstände, unter denen die Schüsse abgefeuert werden, nicht beeinflusst werden, für welche nur das angewendete Geschoss und die Pulverladung massgebend sind, die also beim Schiessen mit einem und demselben Geschosse und mit unveränderter Ladung constant sind. Als Constante können (ausser der Geschossmasse m und der Beschleunigung der Schwerkraft g) die Anfangsgeschwindigkeit V und die von dem Luftwiderstande abhängige Grösse a (oder λ), der Luftwiderstandscoëfficient, betrachtet werden und wurden auch im Vorhergehenden so betrachtet; hiezu tritt noch, im Falle es sich um die dem Rohre in einem bestimmten Falle zu gebende Elevation handelt, die Differenz zwischen dem Elevationswinkel β und dem Abgangswinkel α, der Erhebungswinkel $\varepsilon = \alpha - \beta$.*

Die Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit geschieht durch eigene Messapparate, von welchen der gegenwärtig gebräuchlichste (von Le Boulénge) im ersten Abschnitt beschrieben wurde.

Die Geschwindigkeit v, welche sich aus dem Quotienten $v = \frac{s}{t}$ ergibt, entspricht dem Punkte in der Mitte zwischen den beiden Scheibenrahmen, ist daher nicht sofort schon die Anfangsgeschwindigkeit V (an der Mündung), sondern es muss $V > v$ sein. Um V aus v zu bestimmen, d. h. um die Apparatgeschwindigkeit v an die Mündung zu reduciren, genügt es, wenn unter der Voraussetzung, dass das Geschoss den kurzen Weg von der Mündung bis zum Mittel des Rahmenabstandes geradlinig zurücklegt und innerhalb dieses Weges der Luftwiderstand als constante Kraft wirkt, die Grösse der letzteren annähernd richtig angenommen wird, wozu die oben unter II. angegebene Tabelle der specifischen Luftwiderstände für verschiedene Geschwindigkeiten als Anhaltspunkt

---

* Siehe dritter Abschnitt.

benützt werden kann. Bezeichnet s_1 die Entfernung der ersten Scheibenrahme von der Mündung und s den Abstand der Scheibenrahmen von einander, so ist $l = s_1 + \frac{s}{2}$ der vorangeführte Weg des Geschosses; sei ferner $\mathfrak{W}$ der der Geschwindigkeit v annähernd zukommende specifische Luftwiderstand, so besteht für die geradlinige Bewegung des Geschosses innerhalb des Weges l die Gleichung

$$\frac{G}{2g}(V^2 - v^2) = r^2\pi\mathfrak{W} \,.\, l,$$

woraus

$$V^2 = v^2 + \frac{2g}{G} r^2\pi\mathfrak{W} l$$

folgt.

Beispiel. Bei dem ogivalen 15 cm Geschosse vom Gewichte $G = 35 \cdot 2$ kg betrage die Apparatgeschwindigkeit $v = 495$ m/s, die Entfernung der ersten Scheibenrahme von der Mündung $s_1 = 25$ m/s, der Rahmenabstand $s = 50$ m/s, daher $l = 50$ m/s; für diese Geschwindigkeit kann $\mathfrak{W} = 1 \cdot 05$ kg pro Quadratcentimeter gesetzt werden, mit welchen Daten sich $V = 500 \cdot 2$ m/s oder rund $V = 500$ m/s ergibt.

Um den Erhebungswinkel zu messen, wird in möglichster Nähe der Mündung eine Zielscheibe aufgestellt und auf derselben die Stelle markirt, wo das Geschoss einschlagen müsste, wenn der Abgangswinkel genau gleich dem Elevationswinkel wäre;* aus der Abweichung des wirklichen Einschlages vom markirten und der Distanz der Zielscheibe ergibt sich der Erhebungswinkel.

Zur Festsetzung des Luftwiderstandscoëfficienten muss der experimental-analitische Weg (Beobachtung und Rechnung) eingeschlagen werden. Hiezu wird eine der ballistischen Gleichungen als Basis angenommen, die in derselben vorkommenden variablen Grössen praktisch ermittelt und durch Auflösung der Gleichung nach der Constanten diese bestimmt. In dem Ausdrucke $a = \frac{W}{mv^n} = \lambda \cdot \frac{r^2\pi}{2gm} \cdot \delta$, der in den ballistischen Gleichungen vorkommt, ist δ, das Eigengewicht der Luft, von dem Zustande der Atmosphäre (Barometer- und Thermometerstand, Feuchtigkeitsgehalt der Luft) abhängig, also als von Schuss zu Schuss veränderlich zu betrachten,** so dass λ oder,

---

* Hiezu kann wegen der geringen Distanz der Scheibe der Einfluss des Luftwiderstandes ausseracht gelassen und nur die Senkung des Geschosses infolge der Schwerkraft in Rechnung gebracht werden.

** Hier, wo es sich um möglichst genaue Feststellung der für die ballistischen Rechnungen nothwendigen Grössen handelt, muss δ aus den Constanten ausgeschieden werden: beim praktischen Schiessen kann auf die Veränderlichkeit von δ keine Rücksicht genommen, sondern es muss dafür ein constanter Werth eingenommen werden, welcher dem mittleren Zustande der Atmosphäre entspricht.

nachdem $\frac{r^2\pi}{2gm}$ unabänderlich gegeben, der Complex $\frac{\lambda . r^2\pi}{2gm} = \frac{a}{\delta} = a'$ die zu errechnende Constante bildet und daher $a = a'\delta$ in die Gleichung eingeführt werden muss.

Die Schiessversuche zur Feststellung der ballistischen Constanten überhaupt, insbesondere des Luftwiderstandscoëfficienten, werden unter der Bezeichnung »Portéeschiessen« begriffen. Der einfachste Vorgang dabei ist das Schiessen gegen das freie Terrain bei Zugrundelegung der Bahngleichung $y = x tg\, \alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \mathfrak{Y}$ selbst, in welcher, nachdem $\mathfrak{Y} = \psi[b(\alpha), a', \delta, x]$ ist, die Variablen α, x, y, δ und b vorkommen. Als Basis zur Ermittlung derselben durch den Schuss wird die dem Rohre durch ein genaues Winkelinstrument (Quadrant) ertheilte Elevation β angenommen. Aus β folgt mit dem vorher bestimmten Erhebungswinkel ε der Abgangswinkel $\alpha = \beta + \varepsilon$, und aus diesem durch Rechnung nach der dafür aufgestellten Formel der Werth von b; der Werth von δ wird nach den während des Schiessens vorgenommenen meteorologischen Beobachtungen* gerechnet. Die Entfernung x des ersten Geschossaufschlages am Boden wird auf gewöhnliche Art gemessen, die Höhe y des Aufschlages über oder unter dem Mündungshorizont durch Nivellirung gefunden.** — Wäre das Geschütz von absoluter Treffsicherheit, d. h. könnte darauf gerechnet werden, dass bei allen, unter einer und derselben praktisch eingestellten Elevation abgefeuerten Schüssen das Geschoss in demselben Punkte am Boden aufschlagen wird, so würde ein Schuss genügen, um die einem bestimmten Abgangswinkel α zugehörigen Werthe x und y festzustellen; nachdem dies jedoch nicht der Fall ist, so muss eine grössere Zahl (Serie) von Schüssen mit derselben

* Die Formel zur Berechnung von δ ist

$$\delta = 1 \cdot 293 \frac{B - p(1 \cdot 897 + 0 \cdot 319 t)}{760\left(1 + \frac{t}{273}\right)}$$

wo B den Barometerstand in Millimetern, p den Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Theilen der Maximalsättigung, t die Temperatur in C und δ das Gewicht von 1 ○^{m} Luft in Kilogramm bedeutet; als Normalzustand der Luft an der Meeresfläche kann $B = 760$ m/m, $t = 15^0$, $p = 0 \cdot 5$ angenommen werden, wofür $\delta = 1 \cdot 22$ kg ist.

** In der Praxis werden als Hilfsmittel für die Messung von x im Terrain Distanzen von 100, 50, eventuell 10 m abgesteckt und die Distanzpunkte in voraus nivellirt.

Elevation abgegeben und als wahrscheinlichster Werth von x, beziehungsweise y, das arithmetische Mittel aller resultirenden $x(y)$ genommen werden.

Aber auch eine Schusserie, d. h. eine genügend genaue Combination der Grössen α, x, y, δ und b, genügt noch nicht zur Fixirung des wahren Werthes von a' oder λ, denn erstlich setzt der Ausdruck $a' = \lambda \cdot \frac{r^2 \pi}{2gm}$, wenn λ constant sein soll, voraus, dass das Geschoss während seiner Bewegung stets eine und dieselbe Fläche dem Luftwiderstande darbietet, was wegen des conischen Pendelns der Geschossaxe nicht der Fall ist, — es bezeichnet daher das aus Schüssen auf einer bestimmten Distanz abgeleitete a' nur einen dieser Distanz entsprechenden Mittelwerth, welcher nicht ohne Weiteres als für andere Distanzen giltig angenommen werden kann; ferner ist die zu Grunde gelegte Gleichung selbst sowie der Werth von b nur annähernd richtig; ebenso ist es nicht gleichgiltig, welches Luftwiderstandsgesetz (welche Gleichung) der Berechnung zu Grunde gelegt wird, da, von einer einzigen Combination der ballistischen Grössen ausgehend, sich verschiedene Reihen für die analogen Grössen (z. B. Schussweiten für bestimmte Abgangswinkel) ergeben, je nachdem das eine oder das andere Luftwiderstandsgesetz angenommen wird.* Aus diesen Gründen

* Geht man z. B. bei einem Geschosse, dessen Anfangsgeschwindigkeit mit $V = 500$ m/ gemessen wurde, von der Combination $\alpha = 6^0$, $X = 3274$ m/ aus und rechnet die verschiedenen anderen Abgangswinkeln zukommenden Schussweiten einmal nach dem quadratischen und dann nach dem biquadratischen Luftwiderstandsgesetze, so findet man

	für $\alpha =$	2^0	4^0	6^0	8^0	10^0	12^0
quadratisches Gesetz	$X =$	1443 m/,	2453 m/,	3274 m/,	3737 m/,	4340 m/,	4762 m/,
biquadratisches »	$X =$	1404 m/,	2429 m/,	3274 m/,	4006 m/,	4658 m/,	5248 m/.

Wie dieses Beispiel zeigt, charakterisirt sich das biquadratische Gesetz gegenüber dem quadratischen dadurch, dass die bestimmten Abgangswinkeln zukommenden Schussweiten weiter auseinander rücken. Der Unterschied zwischen diesen beiden Gesetzen tritt noch greller hervor, wenn man von einem bestimmten Luftwiderstand an der Mündung ausgehen, beispielsweise, um das Portéeschiessen ganz zu umgehen, die Angaben der unter II. angeführten Tabelle der specifischen Widerstände benützen würde. Rechnet man für das ogivale 15 cm Geschoss vom Gewichte 35·2 kg und der Anfangsgeschwindigkeit 500 m/, den specifischen Widerstand an der Mündung mit 1·05 kg pro Quadratcentimeter genommen, die Horizontaldistanzen, so hat man

	für $\alpha =$	2^0	4^0	6^0	8^0	10^0	12^0
quadratisches Gesetz	$X =$	1443 m/,	2453 m/,	3274 m/,	3837 m/,	4340 m/,	4762 m/,
biquadratisches »	$X =$	1478 m/,	2611 m/,	3562 m/,	4393 m/,	5137 m/,	5813 m/.

ist es nöthig, mehrere, verschieden weit auseinander liegenden Distanzen oder Elevationen entsprechende Combinationen zu ermitteln, um einen Anhaltspunkt für das zu wählende Luftwiderstandsgesetz zu gewinnen und einen allen in der Praxis vorkommenden Elevationen genügend gut entsprechenden Mittelwerth von a' zu finden.

Die gleichzeitige Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit aus den Resultaten der Schusserien und der Vergleich derselben mit der gemessenen Anfangsgeschwindigkeit bietet das beste Mittel, um das passendste Luftwiderstandsgesetz zu finden.

Um aus einer Reihe von Schusserien gegen das freie Terrain die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten (Anfangsgeschwindigkeit und Luftwiderstandsconstante) zu bestimmen, kann mit Vortheil die Methode der kleinsten Quadrate benützt werden. Der Vorgang hiebei ist im Allgemeinen folgender:

Wird die Gleichung der Flugbahn auf die Form

$$\frac{2\cos^2\alpha}{gx}\left(tg\,\alpha - \frac{y}{x}\right) = \frac{1}{V^2}\cdot\mathfrak{Y}$$

gebracht, so enthält der linke Theil der Gleichung

$$\frac{2\cos^2\alpha}{gx}\left(tg\,\alpha - \frac{y}{x}\right) = \frac{2\cos^2\alpha}{gx}(tg\,\alpha - tg\,\vartheta) = A,$$

wo ϑ den Positionswinkel des mittleren Treffpunktes bedeutet, nur variable Grössen, welche sich aus den Beobachtungen beim Schiessen ergeben, so dass, wenn in diesen Ausdruck für $\alpha, x, y(\vartheta)$ successive die Mittelresultate der Serien, nämlich

$$\begin{array}{ccccc} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \ldots & \alpha_n \\ x_1 & x_2 & x_3 & \ldots & x_n \\ y_1 & y_2 & y_3 & \ldots & y_n \\ (\vartheta_1 & \vartheta_2 & \vartheta_3 & \ldots & \vartheta_n) \end{array}$$

eingesetzt werden, A die Werthe

$$A_1 \;\; A_2 \;\; A_3 \;\ldots\; A_n$$

annimmt. Im zweiten Theile der Gleichung

$$\frac{1}{V^2}\cdot\mathfrak{Y} = \frac{1}{V^2}\psi[a', \delta, \alpha(b), V, x]$$

kommen die beiden Constanten V und a' nebst den Variablen $\delta, \alpha(b)$ und x vor; wenn $\mathfrak{Y}$ durch Einsetzen der obigen Mittelresultate der Serien für x und α sowie der Werthe $b_1 \;\; b_2 \;\; b_3 \ldots b_n$

und $\delta_1 \;\; \delta_2 \;\; \delta_3 \ldots \delta_n$

die Werthe $\mathfrak{Y}_1 \;\; \mathfrak{Y}_2 \;\; \mathfrak{Y}_3 \ldots \mathfrak{Y}_n$

erhält, so bestehen principiell die n Gleichungen

$$A_1 = \frac{\mathfrak{Y}_1}{V^2},\; A_2 = \frac{\mathfrak{Y}_2}{V^2},\; A_3 = \frac{\mathfrak{Y}_3}{V^2},\; \ldots\; A_n = \frac{\mathfrak{Y}_n}{V^2},$$

durch welche die beiden Grössen V und a' überbestimmt sind. Werden zwei dieser Gleichungen nach den Constanten aufgelöst, so erhält man annähernde Werthe für V und a', welche mit V_0 und a'_0 bezeichnet werden sollen und von den richtigen (wahrscheinlichsten) Werthen V und a' um die kleinen Grössen ΔV und $\Delta a'$ verschieden sind, wobei $\Delta V = V - V_0$ und $\Delta a' = a' - a'_0$ ist. Bezeichnet man die Werthe, welche $\mathfrak{Y}_1\ \mathfrak{Y}_2\ \mathfrak{Y}_3 \ldots$ annehmen, wenn in denselben die errechneten angenäherten Werthe V_0 und a'_0 eingesetzt werden, mit

$$\mathfrak{Y}^0_1\ \mathfrak{Y}^0_2\ \mathfrak{Y}^0_3 \ldots \mathfrak{Y}^0_n,$$

setzt man ferner allgemein

$$\frac{1}{V_0^2} \cdot \mathfrak{Y}^0 = B,\ A - B = C,\ \frac{dB}{dV_0} = -\frac{2}{V^3} \cdot \mathfrak{Y}^0 = D,\ \frac{dB}{da'_0} = \frac{1}{V_0^2} \cdot \frac{d\mathfrak{Y}^0}{da'_0} = E,$$

wobei die Grössen B, C, D und E durch Einsetzen der Serienwerthe für α, x, b und δ in

$$\begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 \ldots B_n \\ C_1 & C_2 & C_3 \ldots C_n \\ D_1 & D_2 & D_3 \ldots D_n \\ E_1 & E_2 & E_3 \ldots E_n \end{matrix}$$

übergehen, so ergeben sich ΔV und $\Delta a'$ aus

$$\Delta V = \frac{\Sigma E^2 . \Sigma CD - \Sigma DE . \Sigma CE}{\Sigma D^2 . \Sigma E^2 - (\Sigma DE)^2} . \ \Delta a' = \frac{\Sigma D^2 . \Sigma CE - \Sigma DE . \Sigma CD}{\Sigma D^2 . \Sigma E^2 - (\Sigma DE)^2},$$

wobei $\Sigma E^2 = E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \ldots + E_n^2$,
$\Sigma DE = D_1 E_1 + D_2 E_2 + D_3 E_3 + \ldots D_n E_n$
u. s. f. bedeuten.

Beispiel. Bei sechs Schusserien wurden die Abgangswinkel (durch den Erhebungswinkel corrigirte Elevationswinkel)

	$\alpha =$	2^0	4^0	6^0	8^0	10^0	12^0
angewendet und hiebei	$x =$	1451,	2483,	3264.	3798,	4284,	4721 $^m/$
	$y =$	$-1 \cdot 4$,	$-5 \cdot 5$,	$-3 \cdot 4$,	$+1 \cdot 2$,	$+11$,	$+17 \cdot 5$ $^m/$
	$\vartheta =$	$-3'19''$,	$-7'39''$,	$-3'35''$,	$+1'5''$,	$+8'50''$,	$+12'59''$
	$\delta =$	$1 \cdot 20473$,	$1 \cdot 20964$,	$1 \cdot 21064$,	$1 \cdot 21183$,	$1 \cdot 25731$,	$1 \cdot 25618$

gemessen, beziehungsweise aus Beobachtungen berechnet. Löst man die für $\alpha = 4^0$ und $\alpha = 10^0$ geltenden Gleichungen nach den Constanten auf, so erhält man:

bei Annahme des quadr. Luftwiderstandsgesetzes $V_0 = 487 \cdot 24\ ^m/$, $a'_0 = 0 \cdot 00015537$.
» » » cubischen » $V_0 = 515\ ^m/$, $a'_0 = 0^6 \cdot 4643$.

Nach Durchführung der obigen Rechnung findet man

für das quadratische Gesetz $\Delta V = +1 \cdot 09\ ^m/$, $\Delta a' = +0^5 \cdot 13$,
» » cubische » $\Delta V = -1 \cdot 24\ ^m/$, $\Delta a' = +0^{10} \cdot 84$;

daher sind die wahrscheinlichsten Werthe von V und a'

beim quadratischen Gesetz $V_2 = 488 \cdot 33\ ^m/$, $a'_2 = 0 \cdot 00015667$,
» cubischen » $V_3 = 513 \cdot 76\ ^m/$, $a'_3 = 0^6 \cdot 464384$.

Bei Annahme des biquadratischen Luftwiderstandsgesetzes* ergeben sich als wahrscheinlichste Werthe

$$V_4 = 551 \cdot 55 \, m/, \quad a'_4 = 0^8 \cdot 134099.$$

Rechnet man, zur Probe, mit diesen Werthen von V und a' und mit den gegebenen $\alpha(b)$, δ, und ϑ die den angewendeten Abgangswinkeln zugehörigen Schussweiten x, so findet man

	für $\alpha =$	2°	4°	6°	8°	10°	12°
quadratisches Gesetz	$x =$	1442 m/,	2486 m/,	3241 m/,	3851 m/,	4280 m/,	4706 m/,
cubisches »	$x =$	1471 m/,	2477 m/,	3211 m/,	3823 m/,	4275 m/,	4737 m/,
biquadratisches »	$x =$	1494 m/,	2465 m/,	3188 m/,	3806 m/,	4282 m/,	4776 m/,
beobachtet wurden	$x =$	1451 m/,	2483 m/,	3264 m/,	3798 m/,	4284 m/,	4721 m/.

Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung der beobachteten und der gerechneten Schussweiten in allen drei Fällen eine ganz gute, jedoch weichen die Anfangsgeschwindigkeiten, welche die Basis dieser Berechnungen bilden, sehr bedeutend von einander ab, so dass ein Vergleich derselben mit der durch directe Messung gefundenen Anfangsgeschwindigkeit einen deutlichen Fingerzeig für das zu wählende Luftwiderstandsgesetz bietet. Würde beispielsweise die gemessene Anfangsgeschwindigkeit 490 m/ betragen, so würde dies darauf hindeuten, dass hier das quadratische Gesetz das passendste ist; mit einer kleinen Correctur würde der gefundene Werth von a'_2 dieser Geschwindigkeit noch gut entsprechen, denn mit $V = 490$ m/ und $a'_2 = 0 \cdot 0001587$ erhält man folgende Schussweiten:

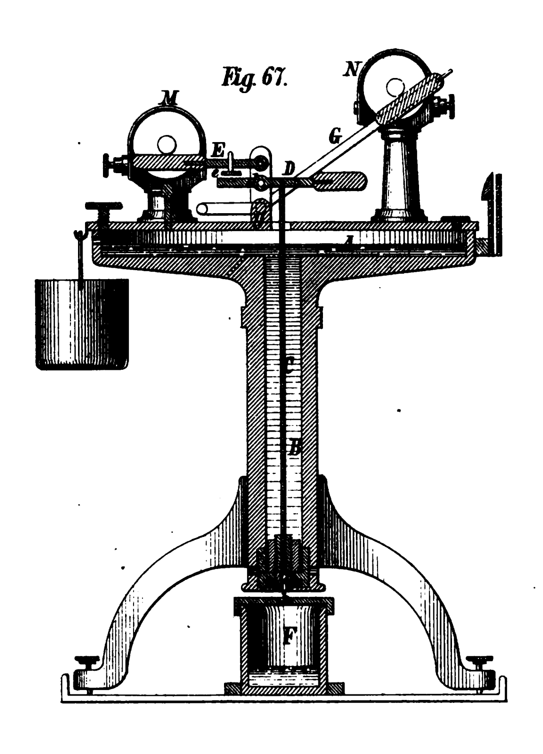
für $\alpha =$	2°	4°	6°	8°	10°	12°
$x =$	1448 m/,	2486 m/,	3242 m/,	3853 m/,	4274 m/,	4696 m/.

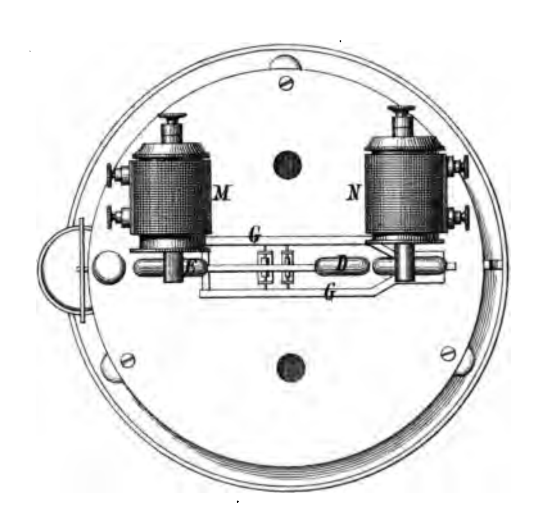
Zur schärferen Bestimmung der Constanten wird man Daten zu gewinnen trachten, um dieselben auch aus anderen Gleichungen zu berechnen und die Rechnungsresultate unter einander zu vergleichen, wodurch sich weitere Anhaltspunkte zu einer eventuellen Richtigstellung oder Aenderung des Luftwiderstandsgesetzes ergeben. Zu diesem Zwecke wird man bei den Schusserien eine Messung der den verschiedenen Schussdistanzen x entsprechenden Endgeschwindigkeiten, Flugzeiten und Einfallwinkel nach Thunlichkeit ausführen,

---

* Die einfachere, für dieses Gesetz giltige Formel gestattet folgendes einfache Verfahren: Die Gleichung auf die obige Form gebracht, ist $\frac{2\cos^2\alpha}{gx}(tg\,\alpha - tg\,\vartheta) =$ $= \frac{1}{V^2} + \frac{2}{3}\delta b x^3 \cos^2\alpha . a'$, wird $\frac{2}{3}\delta b x^3 \cos^2\alpha = M$ gesetzt, so ist $A = \frac{1}{V^2} + Ma'$, wobei M durch Einsetzen der successiven Werthe von $\delta\,\alpha(b)$ und x in $M_1\, M_2\, M_3 \ldots M_n$ übergeht; die wahrscheinlichsten Werthe von V und a' ergeben sich directe aus

$$\frac{1}{V^2} = \frac{\Sigma M^2 . \Sigma A - \Sigma M . \Sigma AM}{n\Sigma M^2 - (\Sigma M)^2}, \quad a' = \frac{n\Sigma AM - \Sigma A . \Sigma M}{n\Sigma M^2 - (\Sigma M)^2}.$$





Lith. im k. k. t. & a. Militär-Comité, 1881.



wobei nach vorgenommener Correctur der Abgangswinkel durch die Positionswinkel ϑ der Aufschlagspunkte $\left(tg\,\vartheta = \frac{y}{x}\right)$ die x als horizontale Schussweiten angesehen werden.

Die Endgeschwindigkeiten werden mit denselben Mitteln gemessen wie die Anfangsgeschwindigkeit, wobei die Rahmenscheiben, über welche die elektrischen Drahtleitungen geführt sind, in möglichster Nähe des Aufschlagpunktes aufgestellt und die gemessenen Geschwindigkeiten, welche sich auf einen Punkt in der Mitte zwischen den Rahmen beziehen, mit Hilfe der ungefähr ermittelten Luftwiderstandsconstanten an den Aufschlagpunkt reducirt werden.

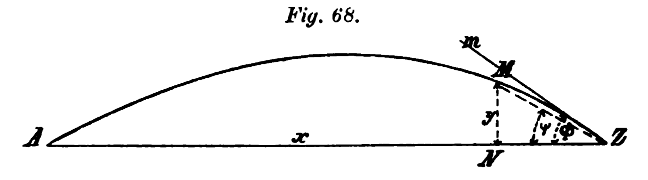
Zur Beobachtung der Flugzeit bedient man sich genau gehender Uhren, welche derart eingerichtet sind, dass sie im Momente der Schussabgabe in Gang gesetzt und im Momente des Geschossaufschlages eingestellt werden können. Rationeller sind Zeitmesser, welche automatisch, nämlich nach dem bei den Geschwindigkeitsmessern angewendeten Principe durch Unterbrechung von elektrischen Strömen* in und ausser Thätigkeit gesetzt werden. Der gegenwärtig gebräuchlichste derartige Apparat ist der Klepsyder (Quecksilberuhr) von Le Boulénge, welcher in *Fig. 67* dargestellt ist. Der Klepsyder bildet ein schalenförmiges Gefäss A mit einem cylindrischen Fortsatze B nach unten, welcher sich am Ende conisch verengt und in einen sehr engen Kanal b auslauft; das ganze Gefäss ist mit Quecksilber gefüllt. Central durch das Gefäss geht eine Stange C, welche unten mit dem conischen Ventil c versehen ist, das die Oeffnung b verschliesst. Die Stange C ist gelenkartig mit dem um die fixe Axe d drehbaren zweiarmigen Hebel D verbunden. Oberhalb des Hebels D ist der Oeffnungshebel E angebracht, welcher durch den Elektromagneten M in der gezeichneten Lage gehalten wird; die Stromleitung dieses Elektromagneten ist über eine Rahmenscheibe geführt, die in möglichster Nähe der Geschützmündung aufgestellt ist. Sobald das Geschoss beim Durchschlagen der Rahmenscheibe die Stromleitung unterbricht, fällt der Oeffnungshebel mit der Schraube e auf den Hebel D herunter, der

* Bekanntlich sind die Geschwindigkeitsmesser eben auch nichts anderes als Zeitmesser, nur dass die zu messende Zeit eine sehr kurze ist. Die für dieselbe eigens eingerichteten Apparate eignen sich grösstentheils nicht zum Messen der ganzen Flugzeiten, welche, besonders bei grossen Distanzen, mehrere Secunden betragen; dies ist beispielsweise beim Geschwindigkeitsmesser von Le Boulénge der Fall, weil die Fallhöhe viel zu gross wäre.

hintere Arm des letzteren steigt in die Höhe und nimmt die Stange C mit, wodurch der Kanal b frei wird und das Quecksilber in ein kleines, darunter gestelltes Gefäss F auszulaufen beginnt. In der Nähe des ersten Geschossaufschlages ist eine zweite Rahmenscheibe aufgestellt, über welche die Drahtleitung eines den Elektromagneten N umkreisenden elektrischen Stromes geführt ist: dieser Elektromagnet hält das obere Ende des um die Axe g drehbaren, rahmenförmig um die Stange C und unter den Hebel E greifenden Schliessungshebels G. Beim Einschlagen des Geschosses in die zweite Rahmenscheibe fällt der obere Arm des Schliessungshebels G herab, der untere Arm geht in die Höhe und hebt den Oeffnungshebel E, wodurch der Hebel D frei und die Stange C niedergedrückt wird, das Ventil c die Ausflussöffnung verschliesst und das Auslaufen des Quecksilbers einstellt. Aus dem Gewichte des ausgeflossenen Quecksilbers* ergibt sich die Zeit $T = t' + t''$, wo t' die zwischen den Einschlägen des Geschosses in die beiden Rahmenscheiben verstreichende Zeit, t'' die Arbeitszeit des Apparates bezeichnet: die letztere Zeit wird wie beim Le Boulénge'schen Geschwindigkeitsmesser durch gleichzeitige Unterbrechung der beiden Ströme mittelst des Disjoncteurs ermittelt. Zur Zeit t' muss die annähernd richtig ermittelte Flugzeit des Geschosses von der Mündung bis zur ersten Rahmenscheibe und von der zweiten Rahmenscheibe bis zum Geschossaufschlage hinzugeschlagen werden, um die ganze Flugzeit zu erhalten.

Zur Ermittlung des Einfallwinkels wird in der Nähe des ersten Aufschlages eine genügend hohe Bretterwand als Zielscheibe MN *(Fig. 68)* aufgestellt: aus der Höhe $MN = y$ des Treffpunktes

Fig. 68.



$M(x, y)$ in der Scheibe über der Grundlinie des Schusses und aus der Entfernung $NZ = X - x$ der Scheibe vom Geschossaufschlage

* Selbstverständlich muss vorher die in Einer Secunde ausfliessende Quantität des Quecksilbers genau ermittelt sein; damit diese als constant gesetzt werden könne, darf die Druckhöhe nur sehr wenig veränderlich sein, welchem Zwecke eben die schalenförmige Erweiterung des Gefässes dient.

ergibt sich der Einfallwinkel $mZA = \Phi$ auf folgende Weise: Nachdem es sich hier nur um das kurze Bahnstück *MZ* handelt, so kann der ballistischen Bahn eine parabolische mit dem Abgangswinkel $= \Phi$ substituirt werden; für diese gilt die Gleichung $y = x\,tg\,\Phi \frac{X-x}{X}$, woraus $tg\,\Phi = \frac{X}{x} \cdot \frac{y}{X-x}$ folgt. Bezeichnet man den Winkel *MZN*, welcher sich ergeben würde, wenn das Flugbahnstück *MZ* als geradlinig betrachtet wird, mit ψ, so ist $\frac{y}{X-x} = tg\,\psi$ und $tg\,\Phi = \frac{X}{x} \cdot tg\,\psi$; ist das Verhältniss $\frac{X}{x}$ nicht viel von der Einheit verschieden, was bei grösseren Distanzen der Fall ist, so kann $\Phi = \psi$ gesetzt, d. h. Φ aus dem Dreiecke *MNZ* bestimmt werden. —

Um das Gesetz der Abhängigkeit der durch die Geschossrotation hervorgerufenen Seitenabweichung (Derivation) von der Schussdistanz zu finden, wird bei jeder Schusserie die Richtung der Verticalebene durch die Rohraxe durch scharfes Einvisiren (mittelst Aufsatz und Visirkorn) auf einen Zielpunkt festgestellt und die Abweichung der ersten Aufschläge (wenn auf eine Scheibe geschossen wird, auch die Abweichungen der Treffpunkte) von der Schussebene gemessen; das Mittel der Abweichungen aller Schüsse der Serie gilt als die der betreffenden Schussdistanz entsprechende Derivation. Für dieses Gesetz kann man eine einfache Form annehmen; in der Regel wird man genügend übereinstimmende Resultate erhalten, wenn man $z = cx^{\nu}$ setzt, wo x die Schussdistanz, z die Derivation, c und ν die zu ermittelnden Constanten bezeichnen.*

Das Portéeschiessen, vom praktischen Gesichtspunkte betrachtet, ist das erste Einschiessen einer Feuerwaffe,** wobei es sich in erster Linie

* Hélie hat aus Versuchen folgende Formel für die Derivation abgeleitet: $z = k\frac{r^3}{p} \cdot tg\gamma \,.\, V^2 sin^2\alpha$, wo p das Geschossgewicht, r den Bohrungsradius, γ den Drallwinkel an der Mündung und k eine zu ermittelnde Constante bedeutet; für ein bestimmtes Geschütz und Geschoss, wo r, p und γ unveränderliche Grössen sind, ist $z = k' \,.\, V^2 sin^2 \alpha$.

** »Feuerwaffe« nicht als Individuum, sondern als Gattung verstanden: alle Geschütze gleicher Construction und desselben Kalibers umfassend, welche gleiche Geschosse mit einer bestimmten Ladung schiessen; das Einschiessen beschränkt sich daher auf nur ein Geschütz jeder Gattung, muss aber mit diesem so oftmal wiederholt werden, als Combinationen von Geschoss und Pulverladung bei dieser Geschützgattung sistemisirt sind.

um die Ermittlung der, bestimmten, in der Praxis vorkommenden Elevationen entsprechenden Tragweite (Portée, Schussweite) des Geschosses, oder umgekehrt der zur Erreichung bestimmter Tragweiten anzuwendenden Elevationen handelt. Es würde zu einer allzugrossen Ausdehnung dieser Versuche führen, wollte man für alle Distanzen, welche als Normaldistanzen für die Schusspraxis angenommen sind (in der Marine von 100 $^m/$ zu 100 $^m/$ steigend), die zugehörigen Elevationen ermitteln; dies ist aber auch wegen des Zusammenhanges, welcher zwischen den Elevationen und den ihnen entsprechenden Schussweiten besteht, nicht nothwendig, sondern es genügt die directe experimentale Ermittlung einiger (nicht zu weniger) Combinationen von Elevation und Portée, um daraus durch Interpolation die auf die praktischen Normaldistanzen basirten analogen Combinationen abzuleiten. Das einfachste Verfahren bei dieser Interpolation ist das graphische. Trägt man nämlich* von dem Punkte *A* (*Fig. 69*), im beliebig angenommenen Masstabe, horizontal die gemessenen Schussweiten als Abscissen, vertical die denselben entsprechenden relativen Abgangswinkel (die bei den einzelnen Schusserien angewendeten Elevationswinkel, durch Erhebungs- und Positionswinkel corrigirt) als Ordinaten auf, verbindet man ferner die so erhaltenen Schnittpunkte 1, 2, 3... durch eine continuirliche Curve, so kann man diesem Diagramm die jeder beliebigen Abscisse (Schussweite) entsprechende Ordinate (Abgangswinkel) entnehmen.** Auf gleiche Art können, wenn eine genügende Reihe von Endgeschwindigkeiten, Flugzeiten, Einfallwinkeln oder Seitenabweichungen ermittelt wurde, die allen praktischen Normaldistanzen zukommenden bezüglichen Daten bestimmt werden. Jedoch ist dieses rein graphische Verfahren in mehrfacher Beziehung unzulänglich: erstlich gehört eine ziemlich grosse Anzahl von Punkten dazu, um die Curve

Fig. 69.

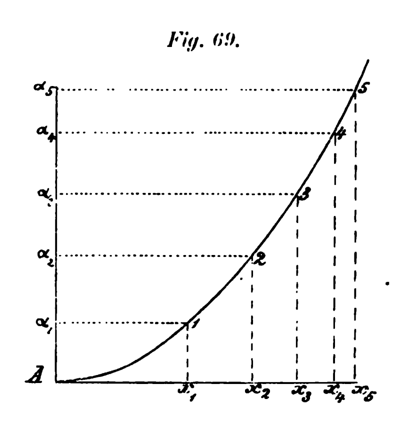
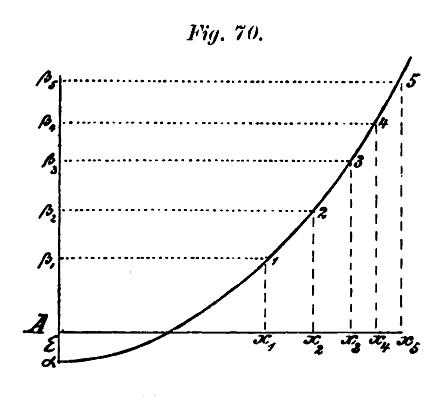


Fig. 70.



* Am besten mit Benützung eines in kleine Quadrate eingetheilten Papiers, — Gitterbogens.

** Werden als Ordinaten nicht die Abgangswinkel, sondern die relativen Elevationswinkel $\beta_1\,\beta_2\,\beta_3\ldots$ (*Fig. 70*) aufgetragen, so kann graphisch der Erhebungswinkel $\varepsilon = Aa$ ermittelt werden, was zur Controle des direct gemessenen Erhebungswinkels dient.

mit genügender Genauigkeit zu ziehen; — ferner müssten, um die Resultate des Portéeschiessens sofort als Normaldaten für die Praxis betrachten zu können, alle Beobachtungen einer bestimmten Reihe bei dem normalen oder mindestens einem nicht stark davon verschiedenen Zustande der Atmosphäre (ruhige Luft, normale Luftdichte) angestellt worden sein, was häufig nicht der Fall ist; — ebenso kann man, wenn über einen der im unmittelbaren Zusammenhang stehenden ballistischen Factoren, beispielsweise über die Endgeschwindigkeit, keine oder nur ungenügende Beobachtungen angestellt wurden, die darauf bezüglichen Daten aus keiner anderen Beobachtungsreihe ohne Anwendung ballistischer Rechnung ableiten etc.

Nachdem somit die ballistische Rechnung schon zur eventuellen Vervollständigung der Beobachtungen in Bezug auf die ballistischen Fundamentalfactoren (Schussweite, Endgeschwindigkeit, Flugzeit, Einfallwinkel), noch mehr aber zur Lösung verschiedener hieher einschlägiger Aufgaben* unerlässlich ist, so muss an die Stelle der bloss graphischen Interpolation** die analitische Interpolation treten, welche eben in der Berechnung der Constanten der ballistischen Gleichungen aus Beobachtungsreihen besteht und im vorangegangenen Texte ihren Grundzügen nach dargelegt wurde. Nachdem eine (und die wichtigere) Gruppe dieser Constanten (Anfangsgeschwindigkeit, Luftwiderstandsconstante) allen auf die Verticalprojection der Flugbahn bezüglichen Gleichungen gemeinschaftlich ist, so können aus einer oder aus wenigen, für die Interpolation genügenden Beobachtungsreihen nicht nur die auf dieselben bezüglichen, sondern auch alle anderen nicht beobachteten Normaldaten der Schusspraxis durch Rechnung gefunden werden. Auch können beim analitischen Verfahren die Verschiedenheiten des atmosphärischen Zustandes (Luftdichte, Luftbewegung) in Berücksichtigung gezogen und daher alle Glieder einer Beobachtungsreihe auf gleiche — normale — Umstände reducirt werden.

Die Art, wie eine abweichende Luftdichte zu berücksichtigen kommt, wurde schon oben im Text angegeben. Der Einfluss des Windes, selbst eines solchen von beträchtlicher Stärke, auf die Schussweite und die übrigen auf die Verticalprojection der Bahn bezüglichen Factoren ist so gering, dass er, besonders bei grösserer Geschossgeschwindigkeit und schweren Geschossen, ganz ausser Betracht gelassen werden kann, wie folgende ungefähre Berechnung zeigt. Der Druck $\mathfrak{W}$ des Windes von einer Geschwindigkeit $= \mathfrak{v}$ auf eine Fläche vom Inhalte $= \mathfrak{f}$ ist $\mathfrak{W} = \mathfrak{m} \cdot \mathfrak{f} \frac{\mathfrak{v}^2}{2g} \cdot \delta$, wo $\mathfrak{m}$ einen von der Grösse und Form der getroffenen Fläche

* Zur Bestimmung anderer, für die Schusspraxis wichtiger Daten; siehe die folgende Abtheilung IV.

** Die graphische Darstellung der Resultate des Portéeschiessens kann immerhin als Hilfsmittel angewendet werden, um sich über den Grad der Uebereinstimmung der Mittelresultate der Schusserien unter einander zu orientiren und auf etwaige, bei einzelnen Schusserien vorgekommene ausserordentliche Störungen oder Unregelmässigkeiten in einfacher Weise geführt zu werden. Weicht nämlich bei Verzeichnung des Diagramms einer der erhaltenen Punkte auffallend weit von der durch die übrigen Punkte markirten Mittelcurve ab, so würde dies auf eine Unregelmässigkeit bei der betreffenden Schusserie hindeuten.

abhängigen Coëfficienten bezeichnet; für kleine ebene Flächen (Geschossboden) kann $\mathfrak{m} = 1\cdot86$, für abgerundete Flächen (Geschosspitze) ungefähr $\mathfrak{m} = 1\cdot5$ gesetzt werden. Nimmt man $\mathfrak{m} = 1\cdot86$ und das Eigengewicht der Luft $\delta = 1\cdot22$ kg pro Cubikmeter an, so kann der Druck des Windes auf den Geschossboden $\mathfrak{W} = 0\cdot12\,\mathfrak{f}\,.\,\mathfrak{v}^2$ gesetzt werden, wo $\mathfrak{f}$ die Geschossquerschnittsfläche in Quadratmetern, $\mathfrak{v}$ die Windgeschwindigkeit in Metern bedeutet und $\mathfrak{W}$ in kg resultirt (der Druck auf die Geschosspitze ungefähr $\mathfrak{W} = 0\cdot093\,\mathfrak{f}\,.\,\mathfrak{v}^2$). Bei einem 15 cm Geschoss, dessen Querschnittsfläche $\mathfrak{f} = 0\cdot0177$ □m beträgt, wäre der Druck des Windes von der Geschwindigkeit $\mathfrak{v} = 12$ m (ungefähr Windstärke 6 der zehntheiligen Scala) auf den Geschossboden $\mathfrak{W} = 0\cdot3$ kg, — eine gegen den normalen Luftdruck, der bei einer Geschossgeschwindigkeit von 400 m nahezu 150 kg beträgt, verschwindende Grösse, welche die Schussweite nur unbedeutend alterirt. — Hingegen ist der Einfluss eines stärkeren Windes auf die Seitenabweichung des Geschosses in den meisten Fällen so beträchtlich, dass er nicht unberücksichtigt bleiben kann. Für $\mathfrak{m} = 1\cdot5$ ist $\mathfrak{W} = 0\cdot093\,\mathfrak{f}\,.\,\mathfrak{v}^2$, wobei $\mathfrak{f}$ nunmehr die Längenschnittsfläche des Geschosses bedeutet; für ein 15 cm Geschoss, dessen Längenschnitt nahezu $0\cdot05$ □m Flächeninhalt besitzt, ist bei der Windgeschwindigkeit $\mathfrak{v} = 12$ m der Seitendruck $\mathfrak{W} = 0\cdot67$ kg. Durch diesen Druck würde das, sonst in Ruhe gedachte Geschoss vom Gewichte $G = 35\cdot2$ kg in der Zeit $t = 10$ Sec. um den Weg von $\zeta = 9\cdot4$ m* nach seitwärts bewegt; nimmt man an, dass dies während des Geschossfluges in demselben Grade stattfindet, so würde die durch die Geschossrotation bedingte — normale — Seitenabweichung (Derivation) um dieses Mass vergrössert oder verkleinert, je nachdem der Wind das Geschoss von der linken oder der rechten Seite trifft. Mit der Anfangsgeschwindigkeit von 400 m würde das Geschoss in 10 Sec. ungefähr 3000 m Distanz erreichen und seine Derivation wäre beiläufig 20 m, — eine Veränderung derselben um $9\cdot4$ m fällt daher sehr bedeutend ins Gewicht. Hieraus entspringt die Nothwendigkeit, beim Portéeschiessen auch die Richtung und die Stärke des Windes zu beobachten, um den Einfluss desselben, mindestens bei der Seitenabweichung, in Anschlag bringen zu können. Die Windrichtung wird folgendermassen in Rechnung gebracht: Ist η der Winkel, welchen die Windrichtung mit der Schussrichtung einschliesst, so ist der Druck in der Schussrichtung von der Geschwindigkeitscomponente $\mathfrak{v}\cos\eta$, der Seitendruck von der Componente $\mathfrak{v}\sin\eta$ abhängig, daher der letztere $\mathfrak{W}_s = \mathfrak{m}\,.\,\mathfrak{f}\,.\,\frac{\mathfrak{v}^2\sin^2\eta}{2g}\,.\,\delta$ zu setzen.

IV. Anwendungen der Ballistik.

1.) Die wichtigste Anwendung der Ballistik betrifft die Frage: welche Richtung dem Geschütze gegeben werden muss, um einen Punkt im Mündungshorizont, dessen Distanz von der Mündung $= X$ ist, zu treffen? Bezüglich der Höhenrichtung ist hiefür die Gleichung

* Nach der Formel $\zeta = \frac{1}{2}\cdot\frac{\mathfrak{W}}{m}t^2 = \frac{1}{2}g\,.\,\frac{\mathfrak{W}}{G}t^2$.

$$tg\,\alpha = \frac{gX}{2V^2 cos^2\alpha} \cdot \mathfrak{Y}$$

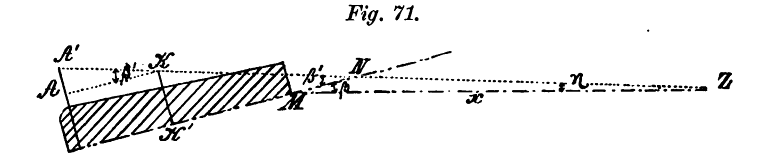
massgebend, aus welcher für den Abgangswinkel α

$$sin\,2\alpha = \frac{gX}{V^2}\mathfrak{Y}$$

folgt.* Wird von α der Erhebungswinkel ε abgeschlagen, so ergibt sich der dem Rohre zu ertheilende Elevationswinkel $\beta = \alpha - \varepsilon$. Soll dem Rohre die Elevation nicht mittelst eines Winkelinstrumentes, sondern mit dem Aufsatze gegeben werden, wie dies grösstentheils geschieht, so bestimmt sich die dem Elevationswinkel β entsprechende Aufsatzhöhe $\mathfrak{A}$ wie folgt:

Ist in *Fig. 71* M der Mündungsmittelpunkt, Z der Zielpunkt, $MZ = X$ die Schussdistanz, $NMZ = \beta$ der Elevationswinkel, K die

Fig. 71.



Spitze des Visirkornes, $\overline{AK} = \mathfrak{L}$ (parallel zur Rohraxe $K'M$) die Grundvisirlinie, $\overline{AA'} = \mathfrak{A}$ die Aufsatzhöhe, $\sphericalangle A'KA = \beta'$, so ist $\mathfrak{A} = \mathfrak{L}\,tg\,\beta'$. Um $tg\,\beta'$ auszudrücken, ist im Dreiecke MZN $X:\overline{MN} = sin\,\beta' : sin\,\eta$, und da $\beta' = \beta + \eta$, daher $\eta = \beta' - \beta$, so folgt

$$X\,sin\,(\beta' - \beta) = \overline{MN}\,.\,sin\,\beta'$$

---

* Nachdem im zweiten Theile der Gleichung in $\mathfrak{Y}$ die von α abhängige Grösse b, eventuell (bei Annahme des cubischen oder biquadratischen Luftwiderstandsgesetzes) auch $cos\,\alpha$ vorkommt, so führt hier eine Näherungsrechnung am einfachsten zum Ziele. Man nehme zur Bestimmung von $\mathfrak{Y}$ einen ungefähren Werth für α an, mit welchem sich aus $sin\,2\alpha_1 = \frac{gx}{V^2}\mathfrak{Y}$ ein erster Näherungswerth α_1 für α ergeben wird; diesen benütze man zur genaueren Bestimmung von $\mathfrak{Y}$ als $\mathfrak{Y}_1$, womit sich aus $sin\,2\alpha_2 = \frac{gx}{V^2}\mathfrak{Y}_1$ ein zweiter Näherungswerth α_2 ergibt; wird mit diesem auf dieselbe Art wie mit dem ersten verfahren, so erhält man einen dritten Näherungswerth α_3 u. s. f. Grösstentheils wird der zweite Näherungswerth schon genügend genau sein, d. h. es wird $\mathfrak{Y}_2$ so wenig von $\mathfrak{Y}_1$ abweichen, dass durch die Weiterführung der Rechnung α nur unwesentlich modificirt werden würde, daher die Rechnung bei α_2 abgebrochen werden kann.

Bezeichnet $\overline{MK'} = \mathfrak{D}$ die senkrechte Entfernung der Kornspitze von der Mündungsfläche, $\overline{KK'} = \mathfrak{H}$ die Höhe der Kornspitze über der Rohraxe, so ist $\mathfrak{H} = (\mathfrak{D} + \overline{MN})\, tg\,\beta'$ und $\overline{MN} = \mathfrak{H}\, ctg\,\beta' - \mathfrak{D}$, daher durch Einsetzen dieses Werthes in die obige Gleichung

$$X \sin(\beta' - \beta) = \mathfrak{H} \cos\beta' - \mathfrak{D} \sin\beta'$$

und weiters

$$X(\sin\beta' \cos\beta - \cos\beta' \sin\beta) = \mathfrak{H} \cos\beta' - \mathfrak{D} \sin\beta',$$

$$X(tg\,\beta' \cos\beta - \sin\beta) = \mathfrak{H} - \mathfrak{D}\, tg\,\beta',$$

womit sich $tg\,\beta' = \frac{\mathfrak{H} + X \sin\beta}{\mathfrak{D} + X \cos\beta}$ und $\mathfrak{A} = \mathfrak{L} \frac{\mathfrak{H} + X \sin\beta}{\mathfrak{D} + X \cos\beta}$ ergibt.

Setzt man in der Gleichung für die Aufsatzhöhe $X = 0$, wobei $\alpha = 0$, $\beta = -\varepsilon$ wird, so folgt für die anfängliche Aufsatzhöhe, d. h. um den an die Mündung gerückt gedachten Zielpunkt anzuvisiren, $\mathfrak{A}_0 = \mathfrak{L}\frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{D}}$; lässt man X und infolge dessen auch β wachsen, so wird sowol der Zähler als auch der Nenner von $\frac{\mathfrak{H} + X \sin\beta}{\mathfrak{D} + X \cos\beta}$ zunehmen, aber anfangs, so lange die Elevationen klein sind, der Nenner im grösseren Grade als der Zähler, so dass für kleine Distanzen die Aufsatzhöhe immer kleiner wird; in der Folge wird sich wegen der rascheren Abnahme von $\cos\beta$ das Verhältniss umkehren und die Aufsatzhöhe mit der Distanz zunehmen. Es wird also die kleinste Aufsatzhöhe nicht der kleinsten Distanz ($X = 0$), sondern einer anderen entsprechen, welche von $\mathfrak{H}$, $\mathfrak{D}$ und dem Verhältniss von X zu β abhängt.

Sei z. B. $\mathfrak{L} = 2$ $^m/$, $\mathfrak{H} = 0{\cdot}75$ $^m/$, $\mathfrak{D} = 2{\cdot}50$ $^m/$, $\varepsilon = 0$,

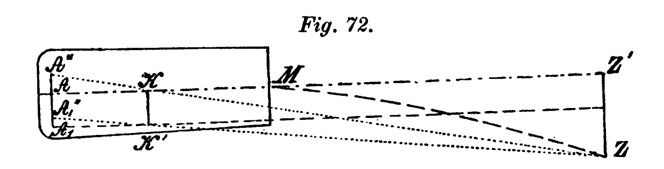
und für $X =$	0,	50 $^m/$,	100 $^m/$,	200 $^m/$,	300 $^m/$,	400 $^m/$,	500 $^m/$,
$\beta =$	0	3′	7′	15′	23′	32′	42′
so wäre $\mathfrak{A} =$	600 $^m/_m$,	30 $^m/_m$,	18 $^m/_m$,	16 $^m/_m$,	18 $^m/_m$,	22 $^m/_m$,	27 $^m/_m$.

Es würde also in diesem Falle die Aufsatzhöhe bis zur Distanz von 200 $^m/$ ab-, dann zunehmen, die Aufsatzhöhe für 300 $^m/$ wäre dieselbe wie für 100 $^m/$, jene für 500 $^m/$ kleiner als für 50 $^m/$ etc. Für grössere Distanzen wird $\mathfrak{H}$ gegen $X \sin\beta$ und $\mathfrak{D}$ gegen $X \cos\beta$ so klein, dass sie vernachlässigt werden können, daher für die Aufsatzhöhen die einfachere Formel $\mathfrak{A} = \mathfrak{L}\, tg\,\beta$ benützt werden kann.

Bezüglich der Seitenrichtung ist, wenn das Geschoss eine Derivation (z. B. nach rechts) hat, zu berücksichtigen, dass die Schussebene nicht auf den Zielpunkt selbst, sondern um den Betrag der Derivation seitlich (nach links) von demselben eingerichtet werden muss; um den Zielpunkt selbst anvisiren zu können, muss das Absehen am Aufsatze um ein entsprechendes Mass auf die der Geschossabweichung entgegengesetzte Seite (nach links) verschoben werden.

Die Seitenverschiebung $\mathfrak{S}$ des Absehens ergibt sich, wenn das Visirkorn K *(Fig. 72)* in der Verticalebene durch die Rohraxe angebracht

Fig. 72.



ist, aus den ähnlichen Dreiecken $ZZ'K$ und KAA'', wo $\overline{ZZ'} = z$ die Derivation, $\overline{KZ'} = X + \mathfrak{D}$, $\overline{KA} = \sqrt{\mathfrak{L}^2 + \mathfrak{A}^2}$ die wirkliche Visirlinie, $\overline{AA''} = \mathfrak{S}$ die Seitenverschiebung ist, mit $\mathfrak{S} = \frac{\sqrt{\mathfrak{L}^2 + \mathfrak{A}^2}}{X + \mathfrak{D}} \cdot z$.

Ist hingegen das Visirkorn um den Abstand Σ nach seitwärts von der Verticalen durch die Rohraxe versetzt, u. zw. wie in *Fig. 72* auf die Seite der Geschossabweichung (nach rechts), so ist $z - \Sigma$, bei einer Versetzung des Kornes auf die Gegenseite aber $z + \Sigma$ statt z zu setzen. In der allgemeinsten Form ist daher die Formel für die Berechnung der Seitenverschiebung $\mathfrak{S} = \frac{\sqrt{\mathfrak{L}^2 + \mathfrak{A}^2}}{X + \mathfrak{D}} (z \mp \Sigma)$.

Setzt man in dieser Gleichung $X = 0$, wobei auch $z = 0$ ist, so folgt $\mathfrak{S}_0 = \mp \frac{\sqrt{\mathfrak{L}^2 + \mathfrak{A}^2}}{\mathfrak{D}} \cdot \Sigma$, es ist daher auch die anfängliche Seitenverschiebung nur bei Mittelaufsätzen $= 0$, bei Seitenaufsätzen ist $\mathfrak{S}_0$ negativ (rechts) für auf der Seite der Geschossabweichung aufgestellte — rechtsseitige, — und positiv (links) für linksseitige Aufsätze. Mit dem Wachsen der Distanz X, wobei auch z, u. zw. in grösserem Verhältnisse als X zunimmt, wird bei Mittelaufsätzen $\mathfrak{S}$ im Allgemeinen zunehmen, — bei linksseitigen Aufsätzen aber zuerst abnehmen, für eine bestimmte Distanz ein Minimum erreichen und dann zunehmen; bei rechtsseitigen Aufsätzen wird das negative $\mathfrak{S}$ abnehmen, bis $z = \Sigma$ ist, wo $\mathfrak{S} = 0$ wird, von hier findet eine ununterbrochene Zunahme der positiven $\mathfrak{S}$ statt.

Als Beispiel sollen die oben für die Aufsatzhöhen angenommenen Daten bezüglich Anordnung der Visirmittel ($\mathfrak{L} = 2$ m, $\mathfrak{D} = 2 \cdot 5$ m) beibehalten und die Seitenverschiebungen für drei Aufsätze: einen Mittelaufsatz, einen um $\Sigma = 0 \cdot 3$ m nach rechts und einen ebenso weit nach links versetzten Aufsatz, berechnet werden. Setzt man in der Formel $z = cX^{\nu}$ für die Derivation $\nu = 2$, $c = \frac{1}{500000}$, so ist für die Distanzen

	$X =$	0	50	100	200	300	400	500 m,
	$z =$	0	0·005	0·02	0·08	0·18	0·32	0·50 m,
für den Mittelaufsatz	$\mathfrak{S} =$	0	0·2	0·4	0·8	1·2	1·6	2·0 mm,
» » linksseitigen Aufsatz	$\mathfrak{S} =$	250	11·6	6·2	3·8	3·2	3·1	3·2 mm,
» » rechtsseitigen »	$\mathfrak{S} =$	—250	—11·2	—5·5	—2·2	—0·8	+0·1	+0·8 mm.

Für kleine Aufsatzhöhen kann $\mathfrak{A}^2$ gegen $\mathfrak{L}^2$ und für etwas grössere Distanzen $\mathfrak{D}$ gegen X vernachlässigt, daher für alle in der Praxis vorkommenden Distanzen $\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{L}}{X}(z \mp \Sigma)$ gesetzt werden; auf den grössten Distanzen ist gewöhnlich z so gross, dass dagegen Σ, also die Rücksicht auf die Versetzung des Aufsatzes, verschwindet und die Seitenverschiebung für alle Aufsätze aus $\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{L}}{X} \cdot z$ gerechnet werden kann.

Bei solchen Aufsätzen, wo das Seitwärtsrücken des Visirabsehens nicht durch eine Verschiebung desselben am Aufsatzstabe geschieht, sondern sich infolge der Neigung des Aufsatzes aus der Verticalen gegen links von selbst ergibt, ist $\mathfrak{S} = \mathfrak{A}\, tg\, \Theta$, wo Θ den Neigungswinkel des Aufsatzes bezeichnet; führt man für $\mathfrak{S}$ und $\mathfrak{A}$ die einfachsten, für grössere Distanzen giltigen Werthe $\mathfrak{S} = \mathfrak{L} \cdot \frac{z}{X}$ und $\mathfrak{A} = \mathfrak{L}.tg\,\beta$ ein, so folgt $tg\,\Theta = \frac{z}{X} \cdot ctg\,\beta$. Diese Construction des Aufsatzes ist daher strenge genommen nur dann möglich, wenn die drei Grössen X, β und z in einem solchen Zusammenhange stehen, dass $\frac{z}{X} \cdot ctg\,\beta$ für alle Distanzen einen unveränderlichen Werth behält; ist dies nicht der Fall, so müsste, falls diese Aufsatzeinrichtung beabsichtigt wird, für Θ ein Mittelwerth gefunden werden, welcher den verschiedenen Distanzen möglichst gut entspricht.

2.) Liegt der zu treffende Punkt nicht im Mündungshorizont, so muss der Abgangswinkel α aus der Bahngleichung

$$y = x\, tg\, \alpha - \frac{gx^2}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y} \ldots$$

$$\text{oder } tg\, \alpha - tg\, \vartheta = \frac{gx}{2V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y} \ldots$$

bestimmt werden, wo x die horizontale Entfernung des Treffpunktes von der Mündung, y die Höhe desselben über dem Mündungshorizont, ϑ den Positionswinkel bedeutet; mit dem Erhebungswinkel ε ergibt sich sodann die Elevation $\beta = \alpha - \varepsilon$. Bei Anwendung des Aufsatzes ist der Berechnung der Aufsatzhöhe die relative Elevation, nämlich die Differenz zwischen dem Elevations- und dem Positionswinkel $\beta_1 = \beta - \vartheta$ zu Grunde zu legen, weil die Verlängerung der Visirlinie auf den Zielpunkt treffen muss, daher die Visirlinie ein bestimmtes Verhältniss zu der Grundlinie des Schusses hat, welches durch die Schwenkung der letzteren um den Positionswinkel ϑ gegen auf- oder abwärts keine Aenderung erleidet.

Ist y so klein, dass $tg\,\alpha - tg\,\vartheta = tg\,(\alpha - \vartheta) = tg\,\alpha'$ gesetzt, d. h. x als horizontale Schussweite des Abgangswinkels α' angesehen werden kann, so berechnet sich α' aus x auf die unter 1.) angeführte Weise, und es ist die mittelst eines Winkelinstrumentes (oder Richtstabes) einzustellende absolute Elevation

$\beta = \alpha' + \vartheta - \varepsilon$, die der Aufsatzberechnung zu Grunde zu legende relative aber $\beta_1 = \alpha' - \varepsilon$. Wie man sieht, ist die auf eine bestimmte Distanz x einzustellende Aufsatzhöhe dieselbe, gleichgiltig, ob der zu treffende Punkt im Mündungshorizont liegt oder nicht, vorausgesetzt, dass die Höhe desselben über oder unter der Horizontalen keine grosse ist, nachdem der Aufsatzhöhe nicht die Horizontallinie, sondern die Grundlinie des Schusses zu Grunde liegt. Bei Anwendung eines Winkelinstrumentes, wo ein directes Visiren auf das Ziel nicht stattfindet, kann der einzustellende Winkel nur nach der Horizontalen beurtheilt werden; es muss daher in diesem Winkel die Schwenkung der Grundlinie des Schusses von der Horizontalen mit berücksichtigt werden.

3.) Mit der vorigen Aufgabe gleichbedeutend ist die: Welche Elevation muss angewendet werden, um eine Deckung von der Höhe y, deren Entfernung von der Mündung $= x$ ist, zu überschiessen? — Grösstentheils handelt es sich nicht um ein einfaches Ueberschiessen der Deckung, sondern darum, einen bestimmten Punkt hinter der Deckung zu treffen. Bezeichnet man die Coordinaten des zu treffenden Punktes mit $x_0 y_0$, so lautet die Aufgabe: diejenige Bahn zu finden, welche durch die beiden Punkte xy und $x_0 y_0$ geht. Die Coexistenz der Gleichungen

$$y = x\, tg\, \alpha - \frac{g x^2}{2 V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y}$$

$$\text{und } y_0 = x_0\, tg\, \alpha - \frac{g x_0^2}{2 V^2 cos^2 \alpha} \cdot \mathfrak{Y}_0$$

zeigt, dass die Aufgabe principiell nicht gelöst werden kann, wenn V als constant betrachtet wird und nur α variirt, es müssen diese beiden Grössen als Variable aus den Gleichungen bestimmt werden, d. h. um einen bestimmten Punkt hinter einer Deckung zu treffen, muss sowol eine bestimmte Elevation als auch eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit (Pulverladung) zur Anwendung kommen. Schüsse gegen Objecte, welche durch Deckungen geschützt und der Einsicht entzogen sind, heissen indirecte Schüsse.

Indirecte Schüsse finden im Festungskriege sehr häufige Anwendung. Um Deckungen von verschiedener Höhe überschiessen und Objecte in verschiedener Entfernung von der deckenden Linie (Krete) der Festungswerke treffen zu können, müssen die dabei zur Verwendung kommenden Geschütze (Festungsgeschütze) mit verschiedenen Pulverladungen dotirt werden. Nachdem auch bei den Feldgeschützen sich die Nothwendigkeit ergeben kann, gedeckte Objecte zu beschiessen, so erhalten dieselben häufig ausser der normalen (Schuss-) Ladung noch eine kleinere (Wurf-) Ladung, welche sie befähigt, den Geschossaufschlag näher an die deckende Linie zu bringen.

4.) Mit Rücksicht auf indirecte Schüsse ist es von Wichtigkeit, bei einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit V für jede Schussdistanz X die Entfernung ξ des ersten Geschossaufschlages von der deckenden Linie, deren Höhe über dem dahinter liegenden Terrain $= H$ ist, zu kennen; diese Entfernung ist der durch die Deckungshöhe H gedeckte Raum. Bedeutet anderseits H die Höhe eines ungedeckten Zielobjectes, so ist ξ die Entfernung, auf welche das Object vom ersten Geschossaufschlage gegen das Geschütz zu rücken kann, ohne dass es durch den Schuss nicht getroffen wird; in diesem Sinne ist ξ der bestrichene Raum für die Zielhöhe H. Um ξ annähernd zu bestimmen, soll der wirklichen ballistischen Geschossbahn eine umgekehrte parabolische subsituirt werden, nämlich eine solche, welche im ersten Geschossaufschlage Z *(Fig. 73)* beginnt und bis zur Mündung A reicht und für welche der Einfallwinkel Φ als Abgangswinkel gilt.* Bezeichnet MN das Ziel (beziehungsweise die Deckung) von der Höhe H, so ist $\overline{NZ} = \xi$, $\overline{AZ} = X$. Nach der bekannten Relation über die Fallhöhen des Geschosses im leeren Raume ist

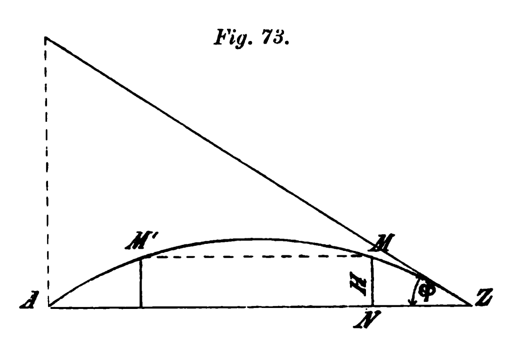


Fig. 73.

$(\xi \, tg \, \Phi - H) : X \, tg \, \Phi = \xi^2 : X^2$, woraus

$$X\xi \, tg \, \Phi - XH = \xi^2 tg \, \Phi \text{ und } \xi = \frac{X}{2} \pm \sqrt{\frac{X^2}{4} - XH \, ctg \, \Phi} \text{ folgt.}$$

Das doppelte Zeichen bedeutet, dass die Flugbahn zweimal, nämlich in den Punkten M' und M, die Höhe H erreicht; nachdem das obere Zeichen für den von Z entfernteren Punkt M' gilt, so ist als Länge des bestrichenen (gedeckten) Raumes am Ende der Geschossbahn $\xi = \frac{X}{2} - \sqrt{\frac{X^2}{4} - XH \, ctg \, \Phi}$ zu nehmen.

Bezüglich des bestrichenen Raumes ist noch Folgendes zu bemerken: Ebenso wie am Ende wird auch am Anfange die Flugbahn auf eine Länge ξ' bestreichend

---

* Eine solche Annahme, als ob das Geschoss von Z gegen A anstatt von A gegen Z geschossen würde, ist wegen der vollständigen Symmetrie der parabolischen Bahn zulässig und wird aus dem Grunde vorgenommen, weil es sich hier um das Bahnstück MZ handelt.

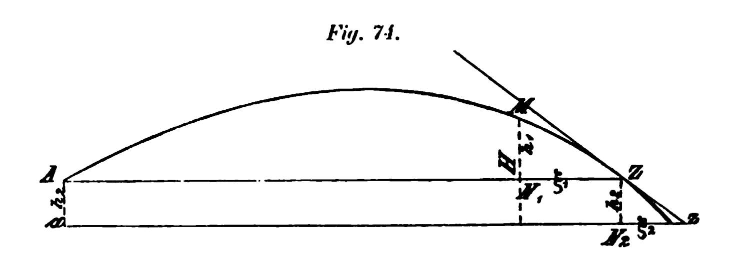
sein, welche sich analog dem früheren annähernd aus $\xi' = \frac{X}{2} - \sqrt{\frac{X^2}{4} - XH ctg\,\alpha}$ bestimmt; nachdem $\alpha < \Phi$, so muss $\xi' > \xi$ sein. Eine bestimmte Zielhöhe H vorausgesetzt, muss sowol ξ als ξ' mit der Zunahme der Distanz kleiner werden, nachdem infolge des Wachsens der Winkel Φ und α die Endstücke der Bahn immer steiler werden; umgekehrt zeigen die obigen Gleichungen, wenn man sie $\xi = \frac{X}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4H}{X tg\,\Phi}}\right)$ und $\xi' = \frac{X}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4H}{X tg\,\alpha}}\right)$ schreibt, dass mit der Abnahme der Distanz, wobei auch Φ und α kleiner werden, auf beiden Seiten ein immer grösserer Theil der Bahnhälfte bestreichend wird. Für $\frac{4H}{X tg\,\alpha} = 1$ oder $H = \frac{X}{4} tg\,\alpha$ wird $\xi' = \frac{X}{2}$, d. h. es reicht der bestrichene Raum am Anfange der Bahn bis zur Bahnhälfte, für $H = \frac{X}{4} tg\,\Phi$ findet dies beim bestrichenen Raume am Ende der Bahn statt; nachdem $H = \frac{X}{4} tg\,\Phi$ bei einer kleineren Distanz als $H = \frac{X}{4} tg\,\alpha$ eintritt, so ist mindestens für alle Distanzen $X < 4 H ctg\,\Phi$ die Flugbahn der ganzen Länge nach bestreichend.

Wird die Zielhöhe H vergrössert, so wächst der bestrichene Raum im grösseren Verhältnisse als die Zielhöhe; denn es ist für die Zielhöhe H $(X\xi - \xi^2) tg\,\Phi = XH$ und für die Zielhöhe $2H$ $(X\xi_1 - \xi_1^2) tg\,\Phi = 2XH$, wird die erste Gleichung mit 2 multiplicirt und von der zweiten abgezogen, so folgt $X\xi_1 - 2X\xi - \xi_1^2 + 2\xi^2 = 0$ oder $X\xi_1 - \xi_1^2 = X.2\xi - 2\xi^2 = X(2\xi) - (2\xi)^2 + 2\xi^2$, daher $\xi_1 > 2\xi$.

Für eine bestimmte Zielhöhe ist auf einer und derselben Distanz der bestrichene Raum um so grösser, je kleiner $\Phi(\alpha)$, d. h. je flacher — rasanter — die Flugbahn ist; nachdem der Einfallwinkel um so kleiner wird, je grösser die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses und je kleiner der Luftwiderstand, so sind diese beiden Factoren für die Erzielung rasanter Flugbahnen mit grossen bestrichenen Räumen massgebend. Die Rasanz der Flugbahn gewährt den Vortheil, dass auch dann noch das Ziel nicht verfehlt wird, wenn die Distanz des Zielobjectes um die Länge des bestrichenen Raumes falsch geschätzt oder das Geschütz bei einer dieser Länge entsprechend abweichenden Elevation abgefeuert wurde; je länger daher der bestrichene Raum, desto grösser kann der Fehler in der Distanzschätzung sein, ohne dass der Schuss fehl geht. Der bestrichene Raum innerhalb der Geschossbahn bis zum ersten Aufschlage gleicht nur fehlerhafte Schätzungen der Distanz aus, wenn diese zu gross angenommen wurde; ist die Distanz zu klein geschätzt worden, so wird für den bestrichenen Raum der Abprallwinkel, unter welchem das Geschoss den weiteren Geller macht, massgebend; dieser Winkel ist in der Regel (mindestens auf kleineren Distanzen) grösser als der Einfallwinkel, daher der bestrichene Raum nach dem Aufschlage kleiner als vor dem Aufschlage.

Es muss bemerkt werden, dass in vorstehender Formel H die Zielhöhe über dem Mündungshorizont bedeutet, dass daher der wirkliche hestrichene Raum nur dann gleich dem hier berechneten wäre, wenn sich der Fusspunkt des Zielobjectes auf der durch die Mündung *A (Fig. 74)* gedachten Horizontallinie

Fig. 74.



AZ bewegen würde. Dies ist jedoch in der Wirklichkeit (insbesondere bei Beschiessung von Schiffen) nicht der Fall, sondern es muss angenommen werden, dass sich der Fusspunkt des Zieles auf dem natürlichen Horizont az bewegt, von welchem der Mündungshorizont AZ um die Höhe $Aa = h_2$ der eigenen Geschützmündung abweicht. Die Höhe des Zieles über dem Mündungshorizont ist dann $MN_1 = H - h_2 = h_1$ und der dieser Höhe entsprechende bestrichene Raum $N_1Z = \xi_1 = \frac{X}{2}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4h_1}{X tg \Phi}}\right]$; hiezu tritt aber noch der bestrichene Raum $N_2z = \xi_2$ hinter dem in der Entfernung $AZ = X$ gedachten Ziele, für welchen die Höhe h_2 der Geschützmündung über dem natürlichen Horizont massgebend ist. Um ξ_2 zu finden, ist nach der Relation der Fallhöhen für die Punkte z und A

$$(h_2 - \xi_2 tg \Phi) : X tg \Phi = \xi_2^2 : X^2,$$

woraus sich

$$\xi_2 = \frac{X}{2}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4h_2}{X tg \Phi}}\right]$$

ergibt; somit ist der totale bestrichene Raum für die Zielhöhe H nunmehr

$$\xi' = \xi_1 + \xi_2 = \frac{X}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{4h_2}{X tg \Phi}} - \sqrt{1 - \frac{4h_1}{X tg \Phi}}\right].$$

Die Differenz zwischen ξ (ohne Berücksichtigung der Mündungshöhe) und ξ' ist bei etwas grösseren Einfallwinkeln nicht sehr bedeutend, wie nachstehendes Beispiel zeigt: Für $X = 1500$ m/, $\Phi = 4^0$, $H = 6$ m/ ist $\xi = 91$ m/; die Mündungshöhe mit $h_2 = 3$ m/ angenommen, wobei $h_1 = 3$ m/ ist, beträgt der bestrichene Raum vor dem Ziele $\xi_1 = 45$ m/, jener hinter dem Ziele $\xi_2 = 42$ m/, daher $\xi' = 87$ m/. Die Differenz wird noch geringer, wenn man erwägt, dass der bestrichene Raum ξ von 1409 m/ bis 1500 m/, jener ξ' aber von 1455 m/ bis 1542 m/ geht, daher eigentlich $\xi = 87$ m/ als bestrichener Raum vor dem Ziele für die Distanz von 1542 m/ gilt; rechnet man für diese Distanz $X = 1542$ m/ und $H = 6$ m/ den bestrichenen Raum ohne Rücksicht auf die Mündungshöhe, indem man den Einfallwinkel mit $4^0 5'$ annimmt, so ist $\xi = 89$ m/. Es braucht daher in der Regel (besonders auf grösseren Distanzen) die Mündungshöhe, wenn sie nicht sehr beträchtlich ist, nicht in Berücksichtigung gezogen zu werden. —

Wenn ξ in der Bedeutung des gedeckten Raumes genommen wird, so ist, im Falle es sich um die Sicherung eines Objectes von der Höhe H' durch eine Deckung von der Höhe H handelt, nur die Differenz $H - H'$ in die obige Formel einzuführen; in diesem Sinne wird ξ der gesicherte Raum des Objectes genannt. —

Beim Shrapnelschiessen nehmen ξ und H die Bedeutung von Sprengintervall und Sprenghöhe an, wobei zu H noch die Höhe des Treffpunktes, d. h. desjenigen Punktes in der Scheibe, durch welchen das nicht krepirte Shrapnel gehen würde, hinzugeschlagen werden muss, um die wirkliche Sprenghöhe über dem Boden zu erhalten.

5.) Beim Schiessen auf ein in Bewegung begriffenes Ziel muss berücksichtigt werden, dass dieses während der Zeit T, welche das Geschoss zum Durchlaufen der Schussdistanz braucht, seinen Ort verändert hat; hieraus ergibt sich die Nothwendigkeit, dem Zielobjecte um so viel vorzurichten, als die von demselben in der Zeit T zurückzulegende Wegstrecke $\mathfrak{s}$ beträgt. Bezeichnet C die als gleichförmig vorausgesetzte Geschwindigkeit des Zielobjectes, so folgt $\mathfrak{s}$ aus $\mathfrak{s} = CT$, wobei T aus der dafür aufgestellten Gleichung auf Grund von X, α und V berechnet werden muss.

6.) Für die Percussionswirkung, welche das Geschoss am Zielobjecte zu leisten vermag, ist die lebendige Kraft des Aufschlages $\frac{1}{2} mU^2$, daher die Masse des Geschosses und die Endgeschwindigkeit auf der betreffenden Distanz massgebend; die letztere findet man nach der Gleichung $U = V . \frac{\cos\alpha}{\cos\Phi} \cdot \frac{1}{\mathfrak{B}_0}$ auf Grund von α, V, $X(\mathfrak{B}_0)$ und des Einfallwinkels Φ. Die thatsächliche Wirkung, welche in der Eindringungstiefe des Geschosses in das widerstehende Object Ausdruck findet, ist von der Natur und Festigkeit des Objectes selbst und des Geschossmaterials,* sowie von der Form und Construction des Geschosses, hauptsächlich des Geschossvordertheils, abhängig. Die Bewegung des Geschosses innerhalb des Zielobjectes kann als eine geradlinige angesehen werden, für welche die Gleichung $mudu = wdx$ besteht, wo w den Widerstand des Zieles bezeichnet; ist Δ die dem Geschwindigkeitsverluste $U - u$ entsprechende Eindringungstiefe, d. h. der Weg des Geschosses im Zielobjecte, während welches die Auftreffgeschwindigkeit U auf u sinkt, und D die totale Eindringungstiefe, nämlich der Weg des Geschosses bis $u = 0$ wird, so gelten die Gleichungen

$$\frac{1}{2} m(U^2 - u^2) = \int_0^{\Delta} wdx \text{ und } \frac{1}{2} mU^2 = \int_0^{D} wdx.$$

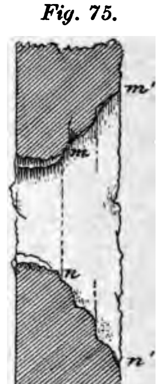
Behufs Integration muss $w = f(x)$ eingeführt werden. $f(x)$ ist von den in jedem speciellen Falle das Eindringen des Geschosses

* Siehe zweiter Abschnitt »Percussionsgeschosse«.

begleitenden Umständen, d. h. von dem supponirten Widerstandsgesetze* abhängig, im Allgemeinen begnügt man sich, $w = \mu + \nu x$ zu setzen und die beiden Coëfficienten μ und ν für verschiedene widerstehende Mittel durch praktische Versuche zu ermitteln; in speciellen Fällen kann selbst diese Form des Widerstandsgesetzes noch vereinfacht werden.

Von besonderer Wichtigkeit für schwere Geschütze ist der Eindringungseffect der Panzergeschosse in Panzerplatten; zur Aufstellung eines verlässlichen Widerstandsgesetzes wurden (besonders in England) sehr ausgedehnte Versuche angestellt, deren Resultat sich in Folgendem zusammenfassen lässt: Beim Durchdringen des Geschosses durch die Panzerplatte geschieht ein Abscheren des Plattenmaterials am Geschossumfange und gleichzeitig eine Verdichtung des ausgestossenen Materials, welches wie ein Stempel durch die Platte getrieben wird; bei freistehenden Platten ist das letztere von einem theilweisen Ausbrechen der rückwärtigen Plattenpartie nach dem Umfange eines Stutzconus $mn - m'n'$ *(Fig. 75)* begleitet. Das gegenwärtig gebräuchlichste (von Noble aufgestellte) Widerstandsgesetz basirt auf der Annahme, dass das Abscheren des Plattenmaterials nach dem Geschossumfange als die hauptsächlichste Leistung des Geschosses zu betrachten ist, und dass dieses Abscheren wegen der Verdichtung des ausgestossenen Stempels in dem Masse schwieriger wird, je weiter das Geschoss eindringt; dieser Voraussetzung entspricht der Ausdruck $w = 2r\pi \,.\, x \,.\, 2k$, wo k einen praktisch zu ermittelnden, von dem Geschoss- und Plattenmaterial und der Geschossconstruction abhängigen Coëfficienten bezeichnet. Führt man diesen Werth in die obigen Gleichungen ein, so ergibt sich $\frac{1}{2} m(U^2 - u^2) = 2r\pi k \Delta^2$ und $\frac{1}{2} mU^2 = 2r\pi k D^2$. Hieraus folgt $D = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} mU^2}{2r\pi} \cdot \frac{1}{k}}$ als Dicke derjenigen Panzerplatte, welche vom Geschosse mit der Geschwindigkeit U eben noch durchschlagen wird; ist die wirkliche Dicke der Platte $\Delta < D$, so durchschlägt das Geschoss dieselbe mit einem Kraftüberschuss,

Fig. 75.



* Die Bewegung des Geschosses innerhalb des Zielobjectes ist principiell dieselbe, wie die Geschossbewegung in der Luft, nachdem das Geschoss nur aus einem Medium in ein anderes tritt.

welcher sich aus $\frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} mU^2 - 2r\pi k\Delta^2$ berechnet. Trifft das Geschoss nicht normal, sondern unter einem Winkel Θ von der Normalen gegen die Platte auf, so muss es einen Weg bis zum Durchschlagen der Platte von der Dicke Δ zurücklegen, dessen Länge $\Delta' = \frac{\Delta}{\cos\Theta}$ ist; die Wanddicke, welche vom Geschosse noch durchschlagen wird, ist dann

$$D = \cos\Theta \sqrt{\frac{\frac{1}{2} mU^2}{2r\pi} \cdot \frac{1}{k}}.$$

Noble hat aus Versuchsergebnissen den Werth k für schmiedeiserne Platten und Stahlgeschosse mit ogivalen Köpfen von 1 — $1^1/_2$ Kaliber Länge, wenn im englischen Mass ($\frac{1}{2} mU^2$ in Fusspfund, r und D in Fuss) gerechnet wird, mit $k = 4821480'$ berechnet. Für metrisches Mass (lebendige Kraft in Kilogramm-Meter, r und D in Meter) ist $k = 23638500$ $^m\!/$; wird hingegen, wie gebräuchlich, die lebendige Kraft in Metertonnen, r in Centimeter, D in Millimeter eingeführt, so ist $k = 0 \cdot 000236385$ zu setzen.

Aus englischen Versuchen hat sich ferner ergeben, dass eine aus zwei oder mehreren durch Verbolzung gut mit einander verbundenen einzelnen Platten zusammengesetzte Platte ungefähr denselben Widerstand leistet, wie eine massive Platte von derselben Dicke; dasselbe gilt auch von der durch die Panzerrücklage verstärkten Platte, wobei in Bezug auf den Widerstand eine 10 $^c\!/\!_m$ dicke Holzlage einer Platte von 1 $^c\!/\!_m$ gleichwerthig ist. Sind hingegen mehrere Platten von der Dicke $\Delta_1\, \Delta_2\, \Delta_3 \ldots$ in solcher Entfernung hinter einander aufgestellt, dass das Geschoss aus der einen gänzlich austritt, bevor es in die folgende eindringt, so bestimmt sich die Geschwindigkeit U, welche zum Durchschlagen des ganzen Sistems von Platten nothwendig ist, auf folgende Art: Hat das Geschoss nach dem Durchschlagen der ersten, zweiten, dritten... Platte beziehungsweise die Geschwindigkeit $u_1\, u_2\, u_3 \ldots$, mit welcher es auf die nächstfolgende Platte auftrifft, so ist

für die erste Platte $\frac{1}{2} m(U^2 - u_1^2) = 2r\pi k\Delta_1^2$

» » zweite » $\frac{1}{2} m(u_1^2 - u_2^2) = 2r\pi k\Delta_2^2$

» » dritte » $\frac{1}{2} m(u_2^2 - u_3^2) = 2r\pi k\Delta_3^2$

» » n^{te} » $\frac{1}{2} m(u^2_{n-1} - u_n^2) = 2r\pi k\Delta_n^2$;

ist $u_n = 0$, so gibt die Summirung dieser Gleichungen

$$\frac{1}{2} mU^2 = 2r\pi k(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \ldots \Delta_n^2).$$

Wären hingegen die Platten ohne Zwischenraum und gut mit einander verbolzt, so dass sie einer massiven Platte von der Dicke $D = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \ldots \Delta_n$ gleich geachtet werden könnten, so würde für die zum Durchschlagen dieses Plattensistems nothwendige Geschwindigkeit U' die Gleichung

$$\frac{1}{2} mU'^2 = 2r\pi kD^2 = 2r\pi k(\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \ldots \Delta_n)^2$$

gelten. Beispielsweise wäre zum Durchschlagen von vier Panzerplatten, wovon jede 100 $^m/_m$ dick ist, im ersteren Falle die lebendige Kraft

$$\frac{1}{2} mU^2 = 2r\pi k 4(100)^2 = 2r\pi k \,.\, 40000,$$

im letzteren Falle aber

$$\frac{1}{2} mU'^2 = 2r\pi k (400)^2 = 2r\pi k \,.\, 160000$$

erforderlich, es müsste also $\frac{1}{2} mU'^2 = 4 \,.\, \frac{1}{2} mU^2$ oder $U' = 2U$ sein; mit der Geschwindigkeit U könnte nur eine massive Platte von der Dicke 200 $^m/_m$ durchschlagen werden. Werden die einzelnen Platten einander so nahe gerückt, dass sie zwar nicht als eine massive Platte betrachtet werden können, dass aber das Geschoss noch nicht die eine Platte verlassen hat, bevor es in die folgende eindringt, so wird die zum Durchschlagen des Plattensistems erforderliche Geschwindigkeit zwischen U und U' fallen, sich je nach der Entfernung der Platten und der Art ihrer Verbindung mehr dem einen oder dem anderen dieser Werthe nähernd.

Nimmt man die Dicke D der Panzerplatte, welche vom Geschosse mit der Geschwindigkeit U durchschlagen wird, als Mass des Durchschlagseffectes an, so zeigt die Formel $D = U\sqrt{\frac{m}{4r\pi k}}$, dass der Durchschlagseffect eines und desselben Geschosses, normales Auftreffen vorausgesetzt, mit dem Wachsen der Schussdistanz im Verhältnisse der abnehmenden Endgeschwindigkeit abnimmt; beim Schiessen auf ein verticales Zielobject geschieht die Abnahme in noch grösserem Verhältnisse, weil das Geschoss um den Betrag des Einfallwinkels schief gegen die Platte auftrifft, daher wegen $\Theta = \Phi$, $D = U\cos\Phi\sqrt{\frac{m}{4r\pi k}}$ ist. —

Was den Einfluss der Geschossform anbelangt, so ist der Durchschlagseffect selbstverständlich um so grösser, je länger und schlanker die Spitze ist, weil eine solche leichter in die Platte eindringt, als eine kürzere und gedrungene Spitze. Noble fand für halbkugelförmige Geschosspitzen den Coëfficienten k $^{10}/_9$mal so gross, als für ogivale Spitzen von den oben angeführten Dimensionen; für ganz cylindrische und stark abgeflachte Spitzen (Stempelgeschosse) ist k noch grösser. Andererseits ist aber Folgendes zu berücksichtigen: Das nicht normal gegen die Platte aufschlagende Geschoss wird, wenn Θ eine gewisse Grösse Θ' überschreitet, gar nicht in die Platte eindringen, sondern von derselben abgleiten; der Grenzwinkel Θ', bis zu welchem das Eindringen noch stattfindet, ist je nach der Form der Geschosspitze ein verschiedener und beträgt bei ogivalen, in eine scharfe Spitze auslaufenden Geschossen vom gebräuchlichen Abrundungsradius ungefähr 30°, bei cylindrischen Geschossen oder stark abgeflachten Geschosspitzen bis zu 50°. Diese letztere Geschossform ist daher beim schiefen Auftreffen vortheilhafter als die ogivale, was beim Beschiessen von runden Panzerthürmen ins Gewicht fällt.

Nach der Noble'schen Widerstandsgleichung

$$\frac{\frac{1}{2} mU^2}{2r\pi} = \int_0^\Delta \frac{w}{2r\pi}\, dx = \int_0^\Delta f_1(x)\, dx = \int_0^\Delta 2kx \,.\, dx$$

ist für den Durchschlagseffect die auf die Längeneinheit des Geschossumfanges entfallende lebendige Kraft des Geschosses massgebend, während die Abhängigkeit des Widerstandes von der Eindringungstiefe, das eigentliche Widerstandsgesetz, in $f_1(x) = 2k \, . \, x$ ausgedrückt ist. Andere Autoren betrachten den Durchschlagseffect als von der auf die Flächeneinheit des Geschossquerschnittes entfallenden lebendigen Kraft abhängig, indem sie $w = r^2\pi f_2(x)$, daher

$$\frac{\frac{1}{2}\, m U^2}{r^2 \pi} = \int_0^{\Delta} f_2(x)\, dx$$

setzen; ebenso wird für $f_2(x)$ häufig die allgemeinere Form $f_2(x) = \mu' + \nu' x$ angenommen.

Von der Firma Krupp wurde aus den bei Versuchen gewonnenen Resultaten folgende einfache Regel über den Durchschlagseffect ogivaler Langgeschosse abgeleitet: »Ein gutes Panzergeschoss durchschlägt so viel Decimeter Schmiedeeisen, als es lebendige Kraft in Metertonnen pro Quadratcentimeter des Geschossquerschnittes besitzt.« — In Italien wurde, ebenfalls aus Versuchsresultaten, für Plattenstärken von über 300 $^{m}/_{m}$ folgende Modification der Noble'schen Formel abgeleitet:

$$D = \sqrt[1.868]{\frac{\frac{1}{2}\, m U^2}{2 r \pi} \cdot \frac{1}{k'}}$$

wo für metrisches Mass $k' = 34980000$ ist.

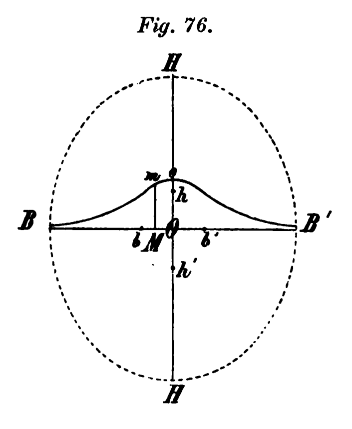
V. Treffwahrscheinlichkeit.

Infolge des Zusammenwirkens mehrfacher Ursachen werden die Flugbahnen, daher auch die Treffpunkte der mit einer und derselben Richtung (Elevation und Seitenverschiebung) abgegebenen Schüsse grössere oder geringere Abweichungen von einander zeigen, selbst wenn das Schiessen unter den denkbar günstigsten Umständen: vollkommen gleiches Geschoss- und Ladungsgewicht, grösste Sorgfalt beim Laden und Richten des Geschützes, vollständig ruhige Atmosphäre etc., vorgenommen wird. Die wesentlichsten dieser Ursachen sind: Abweichungen in der Anfangsgeschwindigkeit, hervorgerufen durch unvermeidliche Verschiedenheiten im Pulver, in den Geschossdimensionen, im Einführen der Ladung, in der Verbrennungsweise des Pulvers etc., — Abweichungen im Erhebungswinkel, unvermeidliche Fehler im Einstellen der Richtung, hauptsächlich verschiedenes Verhalten des Geschosses während des Fluges, hervorgebracht durch, wenn auch geringfügige, Abweichungen in den Dimensionsverhältnissen des Geschosses, insbesondere in der Schwerpunktslage, wodurch ein ver-

schiedenartiger Einfluss des Luftwiderstandes bedingt ist. Diese Fehlerquellen, welche bei sorgfältig vorbereiteten und ausgeführten Schiessversuchen auf das möglich geringste Mass reducirt werden, potenziren sich naturgemäss beim Schiessen im Ernstfalle und es treten noch neue hinzu, hauptsächlich der Einfluss der bewegten Atmosphäre (des Windes, besonders wenn dessen Stärke und Richtung wechselt), bei Schiffsgeschützen überdies die schwankende Unterlage, das Schlingern des Schiffes, welches niemals als ganz ausgeschlossen betrachtet werden kann.

Würden auf einer bestimmten Distanz gegen eine genügend grosse verticale Zielscheibe unter praktisch gleichen Umständen so viele Schüsse abgegeben, dass sich alle nach der Treffähigkeit überhaupt möglichen Treffer ergeben, so würden diese Treffer eine Fläche *BHB'H' (Fig. 76)* von bestimmter Ausdehnung bedecken; jedoch wäre die Dichtigkeit der Treffer nicht in allen Punkten gleich, sondern in der Mitte am grössten und gegen den Rand zu immer kleiner, so dass diese Dichtigkeit beispielsweise für den Durchmesser *BB'* durch die Ordinaten der Curve *BoB'* dargestellt werden kann. Die Wahrscheinlichkeit, dass mit Einem Schusse ein bestimmter Punkt *M* getroffen wird, ist um so grösser, je grösser die auf diesen Punkt entfallende Trefferdichtigkeit der gesammten Schusszahl ist; diese relative Wahrscheinlichkeit kann daher als durch die Ordinate *Mm* ausgedrückt angesehen werden. Die grösste relative Treffwahrscheinlichkeit kommt demnach dem Punkte *O* in der Mitte der Trefffläche zu, weil um diesen Punkt die Treffer der gesammten Schusszahl am dichtesten gruppirt sind; dieser Punkt wird der mittlere Treffpunkt genannt. Die Treffwahrscheinlichkeit für eine Fläche, d. h. die Wahrscheinlichkeit, eine Zielfläche von bestimmter Ausdehnung (Breite und Höhe) mit Einem Schusse zu treffen, wenn der Schuss auf die Mitte der Fläche angetragen wird, ist um so grösser, je grösser diese Fläche im Verhältniss zur ganzen Trefffläche ist; wäre die Zielfläche von derselben Ausdehnung wie die Trefffläche, so wäre die

Fig. 76.



Treffwahrscheinlichkeit = 1 (Gewissheit), für jede kleinere Zielfläche ist die Treffwahrscheinlichkeit < 1. Für die in der Treffwahrscheinlichkeit für eine bestimmte Zielfläche ausgedrückte Fähigkeit des Treffens sind daher die Verhältnisse der Trefffläche massgebend. Die Breite dieser Fläche $\overline{BB'}$ heisst grösste Seitenstreuung, die Höhe $\overline{HH'}$ grösste Höhenstreuung; die halbe Seitenstreuung $\overline{BO} = \overline{OB'}$ ist die grösste Seitenabweichung,* die halbe Höhenstreuung $\overline{HO} = \overline{OH'}$ die grösste Höhenabweichung der Treffer vom mittleren Treffpunkte. Lässt man die Vertheilung der Treffer nach der Höhe ausseracht und betrachtet nur jene nach der Breite, d. h. denkt man sich alle Treffer in der Linie BB' concentrirt, so heisst die Entfernung der Punkte b und b', innerhalb welcher die Hälfte (50 Percent) aller Treffer fällt, die 50percentige Seitenstreuung, die Entfernung jedes dieser Punkte vom mittleren Treffpunkte $\overline{bO} = \overline{b'O}$ die 50percentige Seitenabweichung; ebenso heisst, wenn man nur die Vertheilung der Treffer der Höhe nach ins Auge fasst, die Entfernung der Punkte h und h', innerhalb welcher die Hälfte der Treffer fällt, die 50percentige Höhenstreuung, $\overline{hO} = \overline{h'O}$ die 50percentige Höhenabweichung. Wegen der dichteren Gruppirung der Treffer um O wird die 50percentige (Seiten- oder Höhen-) Abweichung kleiner sein als die Hälfte der bezüglichen Abweichung.** Nachdem innerhalb bb' (hh') 50 Percent aller Treffer fallen, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei Einem Schuss der Treffer innerhalb bb' (hh') sein wird, $= \frac{1}{2}$, d. h. beim Schiessen gegen ein Ziel von der Breite bb' (Höhe hh') ist die Wahrscheinlichkeit für das Treffen ebenso gross wie für das Nichttreffen. Wegen dieser einfachen Beziehung wird die 50percentige Streuung oder die Hälfte derselben: die 50percentige Abweichung, als Mass für die Treffwahrscheinlichkeit, beziehungsweise für die Treffähigkeit des Geschützes genommen und als solches in die Schusstafeln eingetragen.***

* Hiemit ist die oben angeführte Seitenabweichung, Derivation, des Geschosses nicht zu verwechseln; diese bedeutet die Entfernung des mittleren Treffpunktes von der Schussebene und wird zur Unterscheidung von der auf die Treffwahrscheinlichkeit bezüglichen Seitenabweichung der einzelnen Schüsse vom mittleren Treffpunkte auch parallele Seitenabweichung genannt, könnte übrigens zur grösseren Deutlichkeit als ballistische Seitenabweichung bezeichnet werden.

** Im Allgemeinen kann $Ob = \frac{1}{4}\, OB$, sowie $Oh = \frac{1}{4}\, OH$ angenommen werden.

*** In den Schusstafeln der Marinegeschütze sind die 50percentigen Abweichungen unter der Ueberschrift »mittlere Abweichung« aufgeführt, welche ein-

Nachdem die oben angeführten Ursachen, welche die Treffsicherheit beeinträchtigen, sich um so mehr geltend machen, je grösser die Schussdistanz ist, so wird die Treffwahrscheinlichkeit mit dem Wachsen der Distanz abnehmen, d. h. beim Schiessen gegen ein verticales Ziel sowol die 50percentige Seiten- als die 50percentige Höhenabweichung wachsen. Beim Schiessen gegen ein horizontales Ziel tritt an die Stelle der Treffwahrscheinlichkeit nach der Höhe eine solche nach der Länge; die hierauf bezüglichen Verhältnisse der Trefffläche erhalten die Bezeichnung: grösste Längenstreuung, grösste Längenabweichung, 50percentige Längenstreuung, 50percentige Längenabweichung. Das Verhältniss zwischen der Höhen- und Längenstreuung (-Abweichung) ist kein constantes, sondern hängt von dem der Distanz zukommenden Einfallwinkel ab, u. zw. ist die einer bestimmten Höhenstreuung (-Abweichung) entsprechende Längenstreuung (-Abweichung) um so kleiner, je grösser der Einfallwinkel ist. Nachdem mit dem Wachsen der Distanz die Höhenstreuung, zugleich aber auch der Einfallwinkel zunimmt, so kann die Längenstreuung zu- oder abnehmen, je nachdem der eine oder der andere Einfluss überwiegt.

Um beim Schiessversuch auf einer bestimmten Distanz zur Ermittlung der Treffwahrscheinlichkeit alle überhaupt möglichen Treffer zu erhalten, was zur vollkommen genauen Bestimmung der Verhältnisse der Trefffläche nothwendig wäre, müsste eine unendlich grosse Zahl von Schüssen gemacht werden; die Ergebnisse des Schiessversuches ermöglichen demnach nur die Bestimmung eines annähernd richtigen Werthes der 50percentigen Abweichungen, welche um so genauer sein wird, je grösser die Schusszahl ist. Dasselbe ist bei der Feststellung des mittleren Treffpunktes der Fall. Dieser Punkt ist durch die senkrechte Entfernung desselben von zwei bestimmten Linien, z. B. vom linksseitigen und vom unteren Rand der Zielscheibe, fixirt; der wahrscheinlichste Werth dieser Entfernungen ist das arithmetische Mittel der Entfernungen der einzelnen Treffer von den bezüglichen Fixlinien. Bei genügend grosser Schusszahl werden sich nach jeder Richtung auf beiden Seiten des mittleren Treffpunktes (rechts und links, — nach oben und nach unten) gleich viele Treffer ergeben. Bezeichnet man die Abweichungen der einzelnen Treffer vom mittleren Treffpunkte nach einer bestimmten Richtung allgemein mit Δa (nach der Breite Δb, nach der Höhe Δh, nach der Länge Δl), indem man die Abweichungen nach den beiden Seiten durch + und — unterscheidet (z. B. in der Breite rechts $+\Delta b$, links $-\Delta b$), so findet man bei grösserer Schusszahl einen annähernden Werth für die 50percen-

---

fachere Bezeichnung häufig gebraucht wird, obwol unter »mittlere Abweichung« eigentlich, wie weiters ausgeführt werden wird, eine andere Abweichung zu verstehen ist.

tigen Abweichungen, indem man die einzelnen Abweichungen Δa ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen* der Grösse nach ordnet: Das mittlere Glied dieser Reihe, bei gerader Anzahl n der Glieder das $\left(\frac{n}{2}\right)^{te}$, bei ungerader Anzahl das $\left(\frac{n}{2}+1\right)^{te}$, bezeichnet die bezügliche 50percentige Abweichung. Besteht zwischen dem $\left(\frac{n}{2}\right)^{ten}$ und den Nachbargliedern ein göserer Abstand, wie dies bei kleinerer Schusszahl naturgemäss sein muss, so erhält man die 50percentige Abweichung A etwas genauer, wenn man das arithmetische Mittel der einzelnen Abweichungen, die durchschnittliche oder mittlere Abweichung $A' = \frac{1}{n}\Sigma\Delta a$, mit dem der Erfahrung entnommenen Coëfficienten $m = 0{\cdot}845347$ multiplicirt: $A = mA'$. Am genauesten ergibt sich die 50percentige Abweichung, besonders bei kleiner Schusszahl, wenn nach der Regel der Wahrscheinlichkeitsrechnung zuerst die mittlere quadratische Abweichung $A'' = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta a)^2}{n-1}}$ (Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der einzelnen Abweichungen, dividirt durch die um 1 verminderte Schusszahl) gesucht und diese mit dem Coëfficienten $\mu = 0{\cdot}674489$ multiplicirt wird: $A = \mu A''$.**

Beispiel. Mit zwanzig abgegebenen Schüssen wurden Treffer in folgenden Entfernungen vom linken Scheibenrand erhalten, u. zw.

50 %m,	70 %m,	82 %m,	94 %m,
55 »	74 »	84 »	98 »
61 »	76 »	85 »	102 »
65 »	79 »	87 »	108 »
67 »	80 »	90 »	113 »

Das arithmetische Mittel gibt als Entfernung des mittleren Treffpunktes 81 %m, daher sind die nach der Grösse (ohne Rücksicht ob rechts oder links) geordneten Abweichungen der einzelnen Treffer vom mittleren Treffpunkte:

$\Delta b =$	1,	5,	13,	21,
	1,	6,	14,	26,
	2,	7,	16,	27,
	3,	9,	17,	31,
	4,	11,	20,	32.

Das 10. Glied dieser Reihe ist 11 %m, dieses Mass könnte demnach ungefähr als 50perc. Seitenabweichung gelten; das arithmetische Mittel der Abweichungen, die mittlere Abweichung, ist $A'_b = 13{\cdot}3$ %m und das Product $mA'_b = 11{\cdot}243$ %m

* Hiebei kann man sich vorstellen, dass die Treffer der einen Seite mit den ihnen zukommenden Abweichungen vom mittleren Treffpunkte auf die andere Seite übertragen werden, um eine grössere Schusszahl auf einer Seite zu erhalten.

** Bei grosser Schusszahl (über 25 Schüsse) ist $A'' = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta a)^2}{n}}$ zu setzen.

gibt die 50percentige Abweichung etwas genauer; die mittlere quadratische Abweichung ist $A''_b = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta b)^2}{19}} = 16 \cdot 99$ %m, daher der aus derselben sich ergebende wahrscheinlichste Werth der 50percentigen Seitenabweichung

$$A_b = \mu A''_b = 11 \cdot 46 \text{ \%m}.$$

Es würde zu einer allzu grossen Ausdehnung der bezüglichen Versuche führen, wollte man auf allen in der Schusstafel eingetragenen Distanzen die 50percentigen Abweichungen auf directe Weise ermitteln; es genügt die directe Ermittlung auf eine (nicht zu kleine) Anzahl von Distanzen, um daraus durch Interpolation die 50percentigen Abweichungen für die anderen Distanzen abzuleiten.

Aus der 50percentigen Streuung $S = 2A$ nach irgend einer Richtung der Trefffläche ergibt sich die Wahrscheinlichkeit W_s, eine zum mittleren Treffpunkte symmetrische Zielfläche von, nach der angenommenen Richtung, bestimmter Ausdehnung s (einen sonst unbegrenzten Parallelstreifen, in dessen Mitte der mittlere Treffpunkt fällt) zu treffen, nach der Formel

$$W_s = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\nu x} e^{-\tau} \,.\, d\tau,$$

wo $x = \frac{s}{S}$ *, ν einen Zahlencoëfficienten $= 0 \cdot 47694$, e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bedeutet. Man findet für

$x =$	0	0·1	0·2	0·3	0·4	0·5	0·6	0·8	1·0
$W_s =$	0·0000,	0·0538,	0·1073,	0·1604,	0·2127,	0·2641,	0·3143,	0·4105,	0·5000,

$x =$	1·2	1·4	1·6	1·8	2·0	2·5	3·0	3·5	4·0
$W_s =$	0·5817,	0·6550,	0·7195,	0·7753,	0·8227,	0·9082,	0·9570,	0·9818,	0·9930.

Die Percentzahl der Treffer, welche bei einer grösseren Schusszahl auf die Zielfläche von der Breite s erwartet werden kann, ist

$$P_s = 100 W_s.^{**}$$

Die Wahrscheinlichkeit, in einer verticalen Scheibe ein zum mittleren Treffpunkte symmetrisches Rechteck von der Breite $2b$ und der Höhe $2h$ zu treffen, ist

$$W_{2b,\,2h} = W_{2b} \,.\, W_{2h},$$

wo W_{2b} die Treffwahrscheinlichkeit für den der Höhe nach unbegrenzten verticalen symmetrischen Parallelstreifen von der Breite $= 2b$ und W_{2h} die Treff-

---

* Anstatt der 50percentigen Streuung S kann auch die doppelte mittlere Abweichung $S' = 2A'$ oder die doppelte quadratische Abweichung $S'' = 2A''$ der Berechnung zu Grunde gelegt werden; es ist dann $x = \frac{s}{mS'} = \frac{s}{\mu S''}$.

** Die Reihe der Trefferpercentzahlen auf verschieden breite symmetrische Parallelstreifen gestattet eine übersichtliche Darstellung der Vertheilung der Treffer

wahrscheinlichkeit für den der Breite nach unbegrenzten symmetrischen Parallelstreifen von der Höhe $2h$ bedeutet; das Trefferpercent auf dieses Rechteck ist

$$P_{2b.2h} = \frac{P_{2b} \cdot P_{2h}}{100},$$

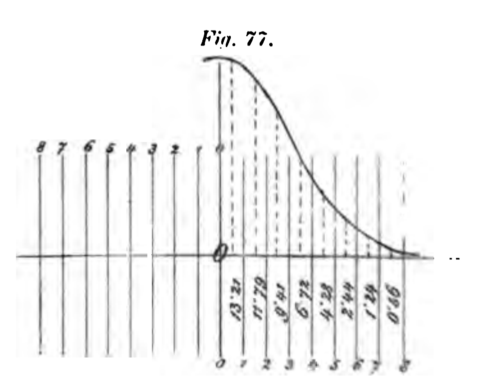
wo $P_{2b} = 100\,W_{2b}$, $P_{2h} = 100\,W_{2h}$ ist.

Die Treffwahrscheinlichkeit für einen Kreis vom Durchmesser d, in dessen Mittelpunkt der mittlere Treffpunkt liegt, ist, wenn die Treffwahrscheinlichkeit nach allen Richtungen der Trefffläche als gleich angenommen wird,

$$W_d = 1 - \frac{1}{2^{k^2}};$$

in dieser Formel ist $k = \frac{d}{D}$, $D = 1\cdot75\,S$ der Durchmesser des Kreises der 50percentigen Streuung.

Beispiel. Die 50percentige Seitenstreuung sei $S_b = 30$ %m, die



---

auf die ganze Trefffläche. Zieht man, vom mittleren Treffpunkte O (*Fig. 77*) als Nullpunkt ausgehend, beiderseits in gleichen Abständen zu einander parallele Linien 1, 2, 3 . . ., und bezeichnet man das Trefferpercent in dem symmetrischen Parallelstreifen von der Breite 1 — 1 mit P_1, jenes im Parallelstreifen von der Breite 2 — 2 mit P_2 u. s. f., so ist das Trefferpercent in jedem der beiden Streifen 0 — 1: $p_{0,1} = \frac{1}{2} P_1$, in jedem der Streifen 1 — 2: $p_{1,2} = \frac{1}{2}(P_2 - P_1)$, in jedem der Streifen 2 — 3: $p_{2,3} = \frac{1}{2}(P_3 - P_2)$ u. s. f. Gibt man z. B. jedem der Streifen 0 — 1, 1 — 2, 2 — 3 . . . die Breite der halben 50percentigen Abweichung $= \frac{1}{2} A$ ($\frac{1}{4}$ der 50percentigen Streuung S), so sind die symmetrischen Streifen 1 — 1, 2 — 2, 3 — 3 . . . beziehungsweise $0\cdot5\,S$, $1\cdot0\,S$, $1\cdot5\,S$ . . . breit, daher hat man die Reihe der Percentzahlen auf diese symmetrischen Streifen

$P_1 = 26\cdot41$, somit ist $p_{0,1} = \frac{1}{2} P_1 = 13\cdot21$,
$P_2 = 50\cdot00$, » » $p_{1,2} = \frac{1}{2}(P_2 - P_1) = 11\cdot79$,
$P_3 = 68\cdot83$, » » $p_{2,3} = \frac{1}{2}(P_3 - P_2) = 9\cdot41$,
$P_4 = 82\cdot27$, » » $p_{3,4} = \frac{1}{2}(P_4 - P_3) = 6\cdot72$,
$P_5 = 90\cdot82$, » » $p_{4,5} = \frac{1}{2}(P_5 - P_4) = 4\cdot28$,
$P_6 = 95\cdot70$, » » $p_{5,6} = \frac{1}{2}(P_6 - P_5) = 2\cdot44$,
$P_7 = 98\cdot18$, » » $p_{6,7} = \frac{1}{2}(P_7 - P_6) = 1\cdot24$,
$P_8 = 99\cdot30$, » » $p_{7,8} = \frac{1}{2}(P_8 - P_7) = 0\cdot56$.

Werden diese Zahlen auf in der Mitte der Streifen 0 — 1, 1 — 2 . . . gezogenen Ordinatenlinien aufgetragen und die Endpunkte durch eine continuirliche Linie verbunden, so stellt diese die in *Fig. 76* angedeutete Trefferdichtigkeitscurve *BmoB'* dar.

50percentige Höhenstreuung $S_h = 36$ %/m. Die Treffwahrscheinlichkeit für einen symmetrischen, in verticaler Richtung unbegrenzten Parallelstreifen von der Breite $2b = 60$ %/m beträgt, da $x_b = 2$ ist, $W_{2b} = 0 \cdot 8227$, auf diesen Streifen entfallen daher 82·27 % Treffer; die Treffwahrscheinlichkeit für einen horizontal unbegrenzten symmetrischen Streifen von der Höhe $2h = 90$ %/m beträgt, da $x_h = 2 \cdot 5$ ist, $W_{2h} = 0 \cdot 9082$, somit entfallen auf diesen Streifen 90·82 % Treffer. Die Wahrscheinlichkeit, ein symmetrisches Rechteck von der Breite $2b = 60$ %/m und der Höhe $2h = 90$ %/m zu treffen, ist $W_{2b,\,2h} = W_{2b} \cdot W_{2h} = 0 \cdot 7472$, auf dieses Rechteck entfallen somit 74·72 % oder rund 75 % Treffer. — Nimmt man die 50percentige Streuung nach allen Richtungen der Trefffläche mit im Mittel $S = \frac{30 + 36}{2} = 33$ %/m an, so ist der Durchmesser des Kreises der 50percentigen Streuung $D = 57 \cdot 75$ %/m. Die Treffwahrscheinlichkeit für einen Kreis vom Durchmesser $d = 82$ %/m beträgt, da $k = \frac{d}{D} = 1 \cdot 42$ und $\frac{1}{2k^2} = 0 \cdot 25$ ist, $W_d = 0 \cdot 75$; auf diesen Kreis, welcher ungefähr denselben Flächeninhalt wie das vorangeführte Rechteck hat, entfällt demnach nahezu die gleiche Anzahl (75 %) Treffer. —

Die Treffwahrscheinlichkeit für einen zum mittleren Treffpunkte nicht symmetrischen Parallelstreifen (wenn der Punkt, auf welchen die Schüsse angetragen werden, der beabsichtigte mittlere Treffpunkt, nicht in der Mitte der Zielfläche liegt) ergibt sich auf folgende Art: Beträgt die senkrechte Entfernung des beabsichtigten mittleren Treffpunktes von dem einen Rande des Parallelstreifens $= a_1$, von dem anderen $= a_2$ und S die 50percentige Streuung nach der bezüglichen Richtung, ist ferner P_{2a_1}, beziehungsweise P_{2a_2}, das Trefferpercent auf den symmetrischen Parallelstreifen von der Breite $2a_1$, beziehungsweise $2a_2$, so ist das Trefferpercent auf die nicht symmetrische Zielfläche von der Breite $a_1 + a_2$

$$P_{a_1 + a_2} = \tfrac{1}{2} (P_{2a_1} + P_{2a_2})$$

und die Treffwahrscheinlichkeit $W_{a_1 + a_2} = \frac{1}{100} P_{a_1 + a_2}$; liegt der mittlere Treffpunkt ausserhalb der Zielfläche, deren Breite $a_1 - a_2$ ist, so ist das Trefferpercent auf diese

$$P_{a_1 - a_2} = \tfrac{1}{2} (P_{2a_1} - P_{2a_2})$$

und die Treffwahrscheinlichkeit $W_{a_1 - a_2} = \frac{1}{100} P_{a_1 - a_2}$.

Beispiel. Beim Schiessen aus Schiffsgeschützen gegen feindliche Schiffe kann im Hinblick auf die Treffwahrscheinlichkeit die zu treffende feindliche Bordwand, wenn auf die Breitenmitte derselben gezielt wird, als eine in horizontaler Richtung unbegrenzte Zielfläche angesehen werden, so dass nur die Treffwahrscheinlichkeit nach der Höhe in Betracht kommt. Werden die Schüsse auf die feindliche Wasserlinie angetragen, so fällt der beabsichtigte Treffpunkt in den Rand der Zielfläche und es ist $a_2 = 0$. Sei die Höhe der feindlichen Bordwand $a_1 = 2$ m/, die 50percentige Höhenstreuung des eigenen Geschützes $S = 1 \cdot 33$ m/, so ist

$$x_1 = \frac{2a_1}{S} = 3,\ P_{2a} = 95 \cdot 70,\ \text{daher}\ P_{a_1} = \tfrac{1}{2} P_{2a_1} = 47 \cdot 85\ \%.$$

VI. Schusstafeln, Gebrauch derselben.

Die Schusstafel ist eine nach fortschreitenden Distanzen geordnete tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten ballistischen Daten eines bestimmten Geschosses bei Anwendung der dafür festgesetzten Ladung, sie soll eine möglichst vollständige Einsicht in die Flugbahnverhältnisse und die Leistungsfähigkeit des Geschosses auf allen in der Praxis vorkommenden Distanzen gewähren, daher die Möglichkeit bieten, sich in der Ausübung über alle hieher gehörigen Fragen sofort zu orientiren, ohne erst weitläufige ballistische Rechnungen ausführen zu müssen. Die Schusstafeln der Schiffsgeschütze enthalten demnach (ausser den Constanten: Anfangsgeschwindigkeit und Erhebungswinkel) nach Distanzen von 100 zu 100 $^m/$ angeordnet: die Elevationswinkel und Seitenabweichungen, die Einfallwinkel, Endgeschwindigkeiten und Flugzeiten, die Scheitelhöhen und Scheiteldistanzen als Daten, in welchen die Flugbahnverhältnisse ausgedrückt sind, — ferner die hieraus abgeleiteten, auf die Anwendung bezüglichen Angaben: die Aufsatzeintheilung (Aufsatzhöhen und Seitenverschiebungen) nebst der Angabe über die einer bestimmten Aenderung der Aufsatzeintheilung entsprechende Verrückung des Treffpunktes, das Mass des Vorrichtens beim Beschiessen eines mit bestimmter Geschwindigkeit (10 Seemeilen) sich bewegenden Zielobjectes (feindlichen Schiffes), die Länge des bestrichenen Raumes am Ende der Geschossbahn für gebräuchliche Zielhöhen (2, 4 und 6 $^m/$), sowie grösstentheils auch die 50percentigen Längen-, Höhen- und Seitenabweichungen für kürzere Distanzen. Ueberdies ist in den Schusstafeln für schwere Geschütze die lebendige Kraft des Geschosses und bei Panzergeschossen der Durchschlagseffect auf Panzerplatten eingetragen; die Schusstafeln für Shrapnels enthalten Angaben über Sprenghöhen und Sprengintervalle.

Als Beispiel diene nachfolgende

Schusstafel für 26 $^{c}/_{m}$ Stahl-Granaten.

Geschossgewicht: 179·5 $^{k}/_{g}$; Pulverladung: 32 $^{k}/_{g}$ prismatischen Pulvers; Anfangsgeschwindigkeit: 428 $^{m}/$; Erhebungswinkel: 0°; Länge der Grundvisirlinie: 2150 $^{m}/_{m}$; Seitenstellung der Aufsätze: 320 $^{m}/_{m}$.

Schussdistanz	Elevationswinkel		Aufsatzhöhe	Derivation des Geschosses	Seitenverschiebung		1 $^{m}/_{m}$ Aufsatzhöhe oder Seitenverschiebung verlegt den Treffpunkt nach der Höhe oder Seite um	Einfallwinkel		Endgeschwindigkeit	Flugzeit	Beim Schiessen auf ein mit 10 Meilen Geschwindigkeit fahrendes Schiff wird vorgerichtet um	Bestrichener Raum a. Ende der Flugbahn für ein Met. hoh. Ziel			Scheitelhöhe	Scheiteldistanz	Lebendige Kraft des Geschosses		Das Geschoss durchschlägt eine freistehende Panzerplatte von	50percentige Abweichung		
					links-seitiger Aufsatz	rechts-seitiger Aufsatz							2	4	6			totale	auf 1 Cm. des Geschossumfanges		Höhen-	Seiten-	Längen-
$^{m}/$	°	'	$^{m}/_{m}$	$^{m}/$	$^{m}/_{m}$		$^{m}/$	°	'	$^{m}/$	s	$^{m}/$						Met.-Tonnen		engl. "	$^{m}/$		
100	.	9	17·0	0·0	7·0	7·0r	0·05	.	9	423	0·23	1	ganze Bahn	ganze Bahn	ganze Bahn	0·1	50	1641	20·09	11·48	0·08	0·05	28·5
200	.	19	17·3	0·1	4·5	2·4r	0·09	.	19	418	0·47	2				0·3	101	1604	19·67	11·36	0·15	0·09	27·0
300	.	28	21·3	0·2	3·7	0·9r	0·14	.	29	414	0·71	4				0·8	151	1574	19·26	11·24	0·22	0·14	25·6
400	.	38	26·4	0·2	2·7	0·4r	0·19	.	39	410	0·95	5				1·1	202	1541	18·86	11·12	0·28	0·19	24·3
500	.	48	32·0	0·3	2·6	0·1r	0·23	.	50	405	1·19	6				1·7	253	1509	18·47	11·00	0·34	0·24	23·1
600	.	58	37·8	0·4	2·5	0·3	0·28	1	.	401	1·44	7	146			2·5	304	1477	18·09	10·88	0·39	0·29	22·0
700	1	8	43·8	0·5	2·6	0·5	0·33	1	11	397	1·69	9	116			3·5	355	1446	17·71	10·77	0·44	0·34	21·1
800	1	18	50·0	0·6	2·7	0·8	0·37	1	22	393	1·95	10	95	246		4·6	406	1416	17·34	10·66	0·48	0·39	20·2
900	1	29	56·2	0·8	2·8	1·1	0·42	1	34	389	2·21	11	80	183	358	5·9	458	1387	16·98	10·55	0·53	0·43	19·4
1000	1	39	62·6	1·0	3·0	1·4	0·47	1	46	385	2·47	13	70	153	264	7·4	509	1358	16·63	10·44	0·57	0·48	18·7
1100	1	49	69·1	1·2	3·1	1·7	0·51	1	58	381	2·73	14	62	132	218	9·1	561	1330	16·28	10·33	0·62	0·53	18·0
1200	2	.	75·7	1·5	3·3	2·1	0·56	2	11	377	2·99	15	55	116	186	11·0	613	1302	15·94	10·22	0·66	0·58	17·3
1300	2	11	82·4	1·8	3·6	2·5	0·60	2	24	373	3·26	17	49	103	162	13·1	665	1275	15·61	10·11	0·70	0·63	16·7
1400	2	22	89·3	2·2	3·9	2·9	0·65	2	37	370	3·53	18	44	93	144	15·4	718	1248	15·29	10·00	0·74	0·68	16·2
1500	2	33	96·3	2·6	4·2	3·3	0·70	2	54	366	3·80	20	40	85	131	17·9	770	1222	14·97	9·90	0·78	0·73	15·6

1600	2	45	103·4	3·1	4·6	3·7	0·74	3	5	362	4·08	21	38	78	120	20·5	823	1197	14·66	9·80	0·82	0·78	15·2
1700	2	57	110·6	3·6	5·0	4·2	0·79	3	20	358	4·36	22	35	72	110	23·3	876	1172	14·36	9·70	0·86	0·83	14·8
1800	3	9	118·0	4·2	5·4	4·7	0·84	3	35	355	4·64	24	33	67	102	26·4	929	1148	14·06	9·60	0·90	0·88	14·4
1900	3	21	125·5	4·9	5·8	5·2	0·88	3	50	351	4·92	25	30	62	95	29·7	983	1124	13·77	9·50	0·94	0·93	14·0
2000	3	34	133·2	5·6	6·3	5·7	0·93	4	6	347	5·21	27	28	57	88	33·2	1036	1101	13·48	9·40	0·97	0·98	13·6
2100	3	46	141·0	6·4	6·8	6·2	0·98	4	22	344	5·50	28	26	53	82	37	1090	1078	13·20	9·30			
2200	3	59	148·9	7·3	7·3	6·8	1·02	4	39	340	5·80	30	25	50	76	41	1143	1056	12·93	9·20			
2300	4	12	157·0	8·2	7·9	7·4	1·07	4	56	336	6·10	31	23	47	71	45	1197	1034	12·66	9·11			
2400	4	25	165·2	9·2	8·5	8·0	1·12	5	13	333	6·40	33	22	45	67	50	1251	1013	12·40	9·02			
2500	4	38	173·6	10·3	9·1	8·6	1·16	5	31	329	6·70	34	21	42	63	55	1305	992	12·15	8·93			
2600	4	52	182·1	11·5	9·7	9·3	1·21	5	49	326	7·01	36	20	40	60	60	1360	972	11·90	8·84			
2700	5	5	190·8	12·8	10·4	10·0	1·26	6	8	322	7·32	38	19	38	57	66	1414	952	11·66	8·75			
2800	5	19	199·6	14·2	11·1	10·7	1·30	6	27	319	7·64	39	18	36	54	72	1469	933	11·42	8·66			
2900	5	33	208·6	15·7	11·8	11·4	1·35	6	47	315	7·96	41	17	34	51	78	1524	914	11·19	8·57			
3000	5	48	217·7	17·3	12·6	12·2	1·40	7	8	312	8·28	43	16	33	49	84	1579	896	10·96	8·48			
3100	6	2	227·0	19·0	13·4	13·0	1·44	7	29	309	8·61	44	15	31	46	91	1635	878	10·74	8·39			
3200	6	17	236·5	20·8	14·2	13·8	1·49	7	50	306	8·94	46	15	30	44	98	1690	860	10·52	8·31			
3300	6	32	246·1	22·7	15·0	14·5	1·53	8	12	303	9·28	48	14	28	42	105	1746	843	10·31	8·22			
3400	6	47	255·9	24·8	15·8	15·4	1·58	8	35	300	9·62	49	13	27	40	113	1802	826	10·11	8·14			
3500	7	3	265·9	27·1	16·7	16·3	1·63	8	58	297	9·96	51	13	26	38	121	1858	809	9·91	8·06			
3600	7	19	276·0	29·2	17·6	17·2	1·67	9	22	294	10·31	53	12	24	37	129	1914	793	9·71	7·98			
3700	7	35	286·3	31·5	18·5	18·2	1·72	9	47	291	10·66	55	12	23	35	138	1971	777	9·52	7·90			
3800	7	52	296·8	34·0	19·5	19·2	1·77	10	12	288	11·02	57	11	22	34	147	2027	762	9·33	7·82			
3900	8	8	307·4	36·7	20·5	20·2	1·81	10	38	286	11·38	59	11	21	32	156	2083	747	9·15	7·74			
4000	8	25	318·2	39·6	21·5	21·2	1·86	11	4	283	11·75	60	10	20	31	166	2140	733	8·97	7·67			

Ueber den **Gebrauch** der Schusstafeln in der Schusspraxis ist Folgendes zu bemerken:

1.) Nachdem die Aufsatzhöhen und die Seitenverschiebungen für alle in der Praxis voraussichtlich vorkommenden Distanzen auf dem Aufsatze aufgetragen sind, so ist beim Vormeisterfeuer mit Aufsatz unter normalen Verhältnissen eine Heranziehung der Schusstafel bei Angabe der auszuführenden Richtung nicht nothwendig. Sollte ausnahmsweise auf eine, die auf dem Aufsatze aufgetrage Maximaldistanz übersteigende Entfernung geschossen werden, so unterliegt die annäherungsweise Ermittlung der dieser Distanz zukommenden Elevation und Aufsatzeintheilung keiner Schwierigkeit, indem man die bezügliche Reihe, die Differenzen der letzten Glieder derselben als Leitfaden nehmend, bis zu der betreffenden Distanz fortsetzt.

In der Regel sind die in der Schusstafel angeführten Zahlen derart abgerundet, dass in den Differenzen der Charakter der Reihe nicht deutlich hervortritt, wodurch die Fortsetzung derselben unverlässlich wird; so enthält die obige Schusstafel folgende Reihe der Elevationswinkel:

Distanz	Elevation	1. Differenz
3200 m/	6° 17′	
		15′
3300 »	6° 32′	
		15′
3400 »	6° 47′	
		16′
3500 »	7° 3′	
		16′
3600 »	7° 19′	
		16′
3700 »	7° 35′	
		17′
3800 »	7° 52′	
		16′
3900 »	8° 8′	
		17′
4000 »	8° 25′	

Man kann sich in diesem Falle dadurch helfen, dass man eine Reihe aufstellt, welche die in grösseren Abständen fortschreitenden Distanzen, z. B. von 400 zu 400 m/, umfasst, diese Reihe erweitert und durch eine einfache proportionelle Interpolation die Zwischenglieder einschiebt. Man hätte dann die Reihe:

Distanz	Elevation	1. Differenz	2. Differenz
1200 m/	2° 0′		
		45′	
1600 »	2° 45′		4′
		49′	
2000 »	3° 34′		2′
		51′	
2400 »	4° 25′		3′
		54′	
2800 »	5° 19′		4′
		58′	
3200 »	6° 17′		4′
		1° 2′	
3600 »	7° 19′		4′
		1° 6′	
4000 »	8° 25′		

Der Charakter dieser Reihe ist ziemlich deutlich: sie kann als eine Reihe der zweiten Ordnung angesehen werden, deren zweite Differenz = 4 ist; die nächsten Glieder der ersten Differenzreihe wären dann

1° 10′
1° 14′
1° 18′
1° 22′
1° 26′.

daher die Glieder der Hauptreihe

Distanz	Elevation
4400 m/	9° 35′
4800 »	10° 49′
5200 »	12° 7′
5600 »	12° 37′
6000 »	14° 3′.

Hieraus ergibt sich mit genügender Verlässlichkeit für die von 100 zu 100 m/ fortschreitenden Distanzen folgende Reihe der Elevationswinkel:

Distanz	Elevation	1. Differenz
4000 m/	8° 25′	
4100 »	8° 42′	17′
4200 »	8° 59′	17′
4300 »	9° 17′	18′
4400 »	9° 35′	18′
4500 »	9° 53′	18′
4600 »	10° 11′	18′
4700 »	10° 30′	19′
4800 »	10° 49′	19′
4900 »	11° 8′	19′
5000 »	11° 27′	19′
5100 »	11° 47′	20′
5200 »	12° 7′	20′

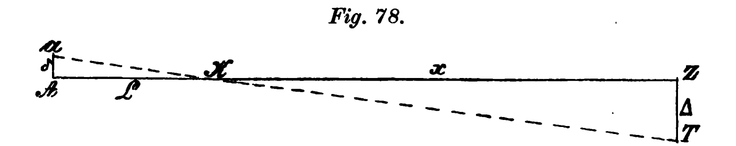
u. s. f.

Wird auf ein sich bewegendes Ziel ein Vormeisterfeuer abgegeben, so ist das nach der Geschwindigkeit des Zieles nothwendige Vorrichten ins Auge zu fassen. Die Schusstafeln geben das Mass des Vorrichtens für 10 Meilen Geschwindigkeit des Zielobjectes; wird die Geschwindigkeit abweichend hievon geschätzt, so findet man das Mass des Vorrichtens, wenn man die Angabe der Schusstafel mit dem Verhältnisse der wirklichen Geschwindigkeit zu 10 Meilen multiplicirt.

So beträgt z. B. auf der Schussdistanz von 2000 m/ das Mass des Vorrichtens für 10 Meilen Geschwindigkeit 27 m/; ist die Geschwindigkeit des feindlichen Schiffes 15 Meilen, so müsste um $\frac{15}{10} \times 27 = 40$ m/ vorgerichtet werden.

Sollte sich nach mehreren aus unveränderter Distanz auf dasselbe verticale Ziel mit einer und derselben Richtung (Aufsatzstellung) abgegebenen Schüssen, wegen der constanten Abweichung aller Treffer nach einer Seite (zu hoch oder zu tief, nach rechts oder nach links),* die Nothwendigkeit herausstellen, die Richtung zu ändern, so ergibt sich das Mass der Verschiebung des Visirabsehens am Aufsatze aus Folgendem: Ist in *Fig. 78* Z der beabsichtigte Treffpunkt (Zielpunkt),

Fig. 78.



T der Mittelpunkt der erzielten Treffergruppe, $\overline{ZT} = \Delta$ die Abweichung des mittleren wirklichen Treffers vom beabsichtigten (der Treffehler), K das Visirkorn, A die Stellung des Absehens, mit welchem die fehlerhaften Schüsse abgegeben wurden, so bezeichnet der in die Verlängerung TK am Aufsatze fallende Punkt a die richtige Stellung, daher $\overline{Aa} = \delta$ die nothwendige Verschiebung des Absehens nach der, der Trefferabweichung entgegengesetzten Richtung; denn wird nach der Verschiebung des Absehens von A auf a durch Verrückung des Geschützes die Visirlinie aK auf Z eingerichtet, wodurch der Punkt a räumlich wieder an die Stelle A gelangt, so werden die Punkte Z und T zur Deckung gebracht. Est ist $\delta = \Delta \frac{\overline{AK}}{\overline{KZ}}$; für AK kann die Länge der Grundvisirlinie $= L$, für $\overline{KZ}$ die Schussdistanz $= x$ gesetzt werden, so dass $\delta = \Delta \frac{L}{x}$ resultirt. Die Schusstafel gibt auf allen Distanzen für $\delta_1 = 1$ mm die Verrückung des Treffpunktes Δ_1 in Metern; beträgt die Abweichung des wirklichen Treffpunktes vom beabsichtigten $= \Delta$ Meter, so ergibt sich die nothwendige Verschiebung des Absehens in Millimetern aus $\delta = \frac{\Delta}{\Delta_1}$.

Beispiel. Beim Schiessen auf 2000 m Distanz betrage der Treffehler $\Delta = 2 \cdot 5$ m; nachdem die Schusstafel $\Delta_1 = 0 \cdot 93$ m angibt, so müsste das Absehen des Aufsatzes um $\delta = \frac{2 \cdot 5}{0 \cdot 93} = 2 \cdot 7$ mm verschoben werden. —

* Die Ursache hievon kann entweder eine unrichtig geschätzte Distanz oder, insbesondere bei constanter Abweichung der Treffer in horizontaler Richtung, ein starker von der Seite einfallender Wind sein.

Wäre die annähernd richtige Schätzung von Δ (wegen der grossen Entfernung des Zieles oder aus sonstigen Gründen) mit Schwierigkeiten verbunden, so empfiehlt sich folgendes praktische Verfahren zur Berichtigung der Aufsatzstellung: Ohne an der Geschützrichtung, mit welcher die fehlerhaften Schüsse abgegeben wurden, irgend etwas zu ändern, wird das Absehen am Aufsatze derart verschoben, dass der erzielte wirkliche mittlere Treffpunkt T anvisirt werden kann, mit dieser Aufsatzstellung wird sodann das Geschütz auf den beabsichtigten Treffpunkt Z eingerichtet. Dieses Einrichten des Geschützes nach dem wirklichen mittleren Treffpunkte setzt aber eine vollkommen unveränderliche Geschützunterlage voraus, welche bei Schiffsgeschützen wegen der selbst bei ruhiger See unvermeidlichen Schwankungen des Schiffes nicht vorhanden ist; dieser Vorgang könnte daher nur bei Landungsgeschützen Anwendung finden, wenn sie auf einer festen Unterlage (Bettung) stehen.

2.) Beim Richten mit aussergewöhnlichen Richtmitteln ist zu beachten, dass weder bei der Einstellung der Geschütze die Derivation des Geschosses berücksichtigt, noch auch das Peilinstrument für Seitenverschiebung eingerichtet ist.

Diesem Umstande muss beim Schiessen auf grössere Distanzen, wo die Derivation bedeutender ist, dadurch Rechnung getragen werden, dass das Abfeuern der Geschütze in dem Momente veranlasst wird, in welchem die Visur des Peilinstrumentes um das in der Schusstafel eingetragene Mass der Seitenabweichung links vom beabsichtigten Treffpunkte einschneidet.

Auch bei dieser Feuerart muss beim Beschiessen eines Zielobjectes in Bewegung das Vorrichten im Auge behalten werden.

3.) Die Kenntniss der Schussdistanz bildet eine der Grundbedingungen für die Erzielung von Treffern. Allerdings gleicht die Rasanz der Flugbahn den Einfluss einer eventuell fehlerhaften Schätzung der Distanz theilweise aus; nachdem aber mit zunehmender Distanz einerseits die Schätzung der Entfernungen schwieriger, andererseits aber der bestrichene Raum immer kleiner wird, so ist das Schätzen der Distanzen nach dem Augenmass nur auf kleineren Entfernungen statthaft, während auf grösseren Distanzen zur Vermeidung von Fehlschüssen die Entfernung des Zieles mittelst eines Distanzmessers gemessen werden muss. Die in der Schusstafel angegebenen bestrichenen Räume für verschiedene Zielhöhen sollen daher dem Artillerie-Offizier den Fingerzeig bieten, bis zu welcher Schussdistanz ungefähr er sich, gemäss der erlangten Uebung im Abschätzen von Distanzen, mit dem blossen Schätzen der Entfernung nach dem Augenmass begnügen kann, ohne aus dieser Ursache Fehlschüsse befürchten zu müssen.

Der bestrichene Raum gibt ferner die Strecke an, welche ein sich näherndes feindliches Schiff durchlaufen kann, ohne aus dem Trefferbereich der eigenen Geschütze zu treten, selbst wenn diese die ursprüngliche Elevation nicht ändern. Darnach kann der mit der Leitung des Feuers betraute Offizier den Zeitmoment beurtheilen, in welchem in solchen Fällen eine Aenderung der Elevation unbedingt geboten erscheint.

Sollte die Höhe des Zieles von den in der Schusstafel eingetragenen Zielhöhen beträchtlich abweichen, so kann man sich über die Länge des bestrichenen Raumes annähernd orientiren, wenn man, das Endstück der Flugbahn als gerade Linie betrachtend, $\xi = \frac{H}{tg\,\Phi}$ annimmt, wo H die Zielhöhe, Φ den Einfallwinkel, ξ den bestrichenen Raum bedeutet. Nachdem $tg\,1' = 0{\cdot}00029$ ist, so kann $\xi = \frac{H}{0{\cdot}00029\,\Phi'} = \frac{3448}{\Phi'} H$ gesetzt werden, wobei Φ in Minuten einzuführen ist; diese Formel wird besonders auf grösseren Distanzen ziemlich richtige Resultate geben. Für die Distanz von 2000 m/, $\Phi = 4^0\,6' = 246'$, erhält man bei einer Zielhöhe $H = 10$ m/ nach dieser Formel $\xi = 140$ m/, während die in IV. 4.) aufgestellte genauere Formel $\xi = 150$ m/ ergibt.

Auf kleineren Distanzen kann die in der Schusstafel eingetragene Scheitelhöhe einen ungefähren Anhaltspunkt über die Rasanz bieten: Für Zielhöhen, die grösser sind als die Scheitelhöhe, ist die Bahn der ganzen Länge nach rasant.

4.) Soll ein höher gelegenes Object beschossen werden, so dienen zur Orientirung bezüglich der Elevationen, mit welchen dies möglich ist, die Angaben der Schusstafel über Scheitelhöhe und Scheiteldistanz.

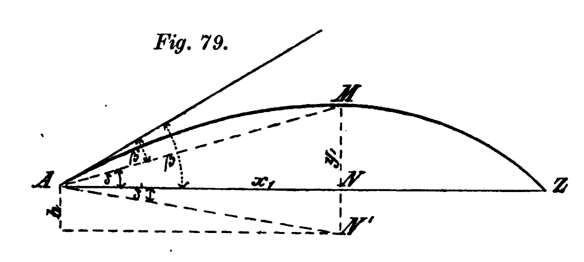


Fig. 79.

Ist M *(Fig. 79)* ein zu beschiessender Punkt, dessen Höhe über dem Mündungshorizont $MN = y_1$ ist, so ist die kürzeste (flachste) Flugbahn, welche durch diesen Punkt geht, diejenige AMZ, für welche M den Scheitel bildet. Die untere Grenze der Elevationen, mit welchen der Punkt M beschossen werden kann, ist daher diejenige der Scheiteldistanz x_1, zu welcher y_1 als Scheitelhöhe gehört: die kleinste absolute (von der Horizontalen gemessene) Elevation β, welche in Anwendung treten kann, ist die der Horizontaldistanz $AZ = x$ entsprechende, die kleinste relative (auf dem Auf-

satz einzustellende) Elevation $\beta' = \beta - \vartheta$ aber die der Scheiteldistanz x_1 als Schussdistanz zukommende.

Wäre z. B. ein $y_1 = 60$ m/ über dem Mündungshorizont gelegener Punkt zu beschiessen, so zeigt die Schusstafel, dass dieser Scheitelhöhe die Scheiteldistanz $x_1 = 1360$ m/ und die Horizontaldistanz von 2600 m/ entspricht; soll daher dieser Punkt mit der kleinsten Elevation (flachsten Flugbahn) erreicht werden, so kann dies nur aus der Distanz von 1360 m/ geschehen, bei Einstellung der Richtung nach einem Winkelinstrument müsste die der Distanz von 2600 m/ entsprechende Elevation von 4° 52′ angewendet werden, während beim Einstellen der Richtung mittelst des Aufsatzes dieser für die effective Distanz von 1360 m/ gestellt wird. — Bei Anwendung des Richtstabes, welcher (eben weil kein Visiren stattfindet, sondern die Stellung der Rohraxe nach der Abweichung von der Horizontalen beurtheilt werden muss) principiell einem Winkelinstrument gleich zu achten ist, muss ebenfalls die der Horizontaldistanz entsprechende Elevation β eingestellt werden; nachdem jedoch auf der Richtstabhülse nur der der effectiven Distanz zukommende Elevationswinkel β', vermindert um den der eigenen Batteriehöhe h entsprechenden Positionswinkel ϑ', also $\beta' - \vartheta'$ aufgetragen ist, so muss die Ergänzung $\beta - (\beta' - \vartheta') = \vartheta + \vartheta'$ auf dem Richtstabe selbst (mit der eventuellen Krängung) eingestellt werden. ϑ und ϑ' ergeben sich aus $tg\,\vartheta = \frac{y_1}{x_1}$ und $tg\,\vartheta' = \frac{h}{x_1}$ oder, hinreichend genau, aus $tg(\vartheta + \vartheta') = \frac{y_1 + h^*}{x_1}$ mittelst einer Tangententabelle. Der Winkel $\vartheta + \vartheta'$ ist als »Krängung tief« anzugeben.

Die kürzeste Distanz x', aus welcher ein hochgelegener Punkt beschossen werden kann, hängt von der grössten zulässigen Rohrelevation β_{max} ab und ergibt sich, wenn man in der Schusstafel diejenige Distanz x' aufsucht, für welche die Summe des Elevationswinkels $\beta_{x'}$ und des Positionswinkels des Zielpunktes $\vartheta_{x'}$ dem Winkel β_{max} gleichkommt.

Nachdem $\vartheta_{x'} = \beta_{max} - \beta_{x'}$ und $\frac{y_1}{x'} = tg\,\vartheta_{x'} = tg(\beta_{max} - \beta_{x'}) = \frac{\beta_{max} - \beta_{x'}}{3448}$ (die Winkel in Minuten), so folgt $x' = \frac{3448\,y_1}{\beta_{max} - \beta_{x'}}$; für kleinere Höhen y_1 kann $x' = \frac{3448\,y_1}{\beta_{max}}$ gesetzt und selbst bei grösseren Höhen dieser Werth als erste Annäherung betrachtet und entsprechend nach oben abgerundet werden. Beim 26 c/m Geschütz ist $\beta_{max} = 9^0$, für $y_1 = 60$ m/ ergibt sich nach der obigen Näherungsformel $x' = 383$ m/; wird hiefür rund $x' = 400$ m/ genommen, so entspricht dieser Werth genügend genau der Minimaldistanz, denn es ist (nach der Schusstafel) $\beta_{x'} = 38'$, daher $\beta_{max} - \beta_{x'} = 502'$ und hiemit $x' = \frac{3448 \times 60}{502} = 412$ m/.

Uebersteigt die Höhe y_1 des anzuschiessenden Punktes über dem Mündungshorizont die grösste in der Schusstafel eingetragene Scheitel-

---

* $y_1 + h$ bedeutet die Höhe des anzuschiessenden Punktes über dem Meeresspiegel.

höhe, so kann der Punkt auch mit der grössten Schusstafel-Elevation nicht mehr erreicht werden, und es müssten zur Ermittlung der Distanz, aus welcher die Beschiessung vorgenommen werden kann, die beiden Reihen »Scheitelhöhe« und »Scheiteldistanz« auf die in Punkt 1.) angegebene Weise bis zur Scheitelhöhe y_1 fortgesetzt werden; gleichzeitig müsste auch die Reihe der Elevationswinkel um die entsprechende Anzahl Glieder erweitert werden, um sich über die zur Anwendung kommende absolute Elevation zu orientiren. Ist diese grösser, als die nach der Construction des Rapertes zulässige grösste Elevation, so müsste durch Ueberkrängen des Schiffes auf die entgegengesetzte Bordseite die Möglichkeit geschaffen werden, die ermittelte Elevation zu ertheilen.

Würde z. B. die Höhe des anzuschiessenden Punktes $y_1 = 250$ m/ betragen, so hätte man durch Erweiterung der Reihen für β, y_1 und x_1:

Horizontaldistanz	β	y_1	x_1
4000 m/	8° 25′	166 m/	2140 m/
4100 »	8° 42′	176 »	2197 »
4200 »	8° 59′	187 »	2254 »
4300 »	9° 17′	198 »	2311 »
4400 »	9° 35′	210 »	2369 »
4500 »	9° 53′	222 »	2427 »
4600 »	10° 11′	235 »	2485 »
4700 »	10° 30′	248 »	2543 »

Hieraus ergibt sich, dass dieser Punkt aus der Distanz von 2550 m/ mit einer absoluten Elevation von ungefähr 10° 33′ beschossen werden könnte; nachdem das Rapert nur eine Elevation von 9° gestattet, so müsste ein Ueberkrängen des Schiffes um circa $1^1/_2{}^0$ stattfinden. —

Zur Ermittlung der unter 3.) und 4.) angeführten Daten (bestrichener Raum und Grenze der Beschiessbarkeit höher gelegener Ziele) kann auch das graphische Verfahren eingeschlagen werden. Der Vorgang hiebei ist folgender: Nachdem (siehe unter II.) jede Flugbahn als ein Theil einer grösseren angesehen werden kann, so folgt für eine Reihe von flachen Flugbahnen, dass in der, dem grössten in der Schusstafel eingetragenen Abgangswinkel zukommenden Geschossbahn alle den kleineren Abgangswinkeln entsprechenden Bahnen enthalten sind. Zum Verzeichnen der grössten Geschossbahn dient die Gleichung

$$y = \frac{x}{2\cos^2\alpha}(\sin 2\alpha - \sin 2\alpha_x)$$

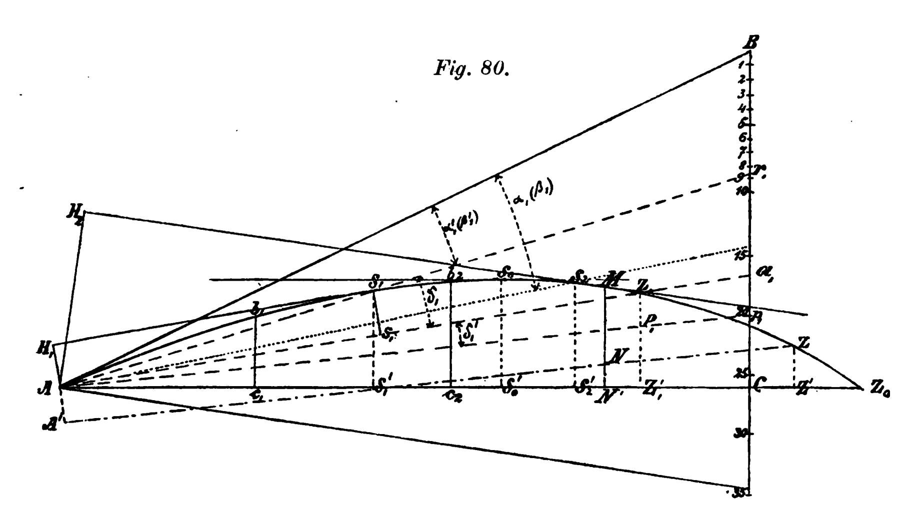
oder die einfacheren

$$y = x(tg\,\alpha_{max} - tg\,\alpha_x),\ y = 0\cdot00029\,x\,(\alpha'_{max} - \alpha'_x),$$

in welchen x und y die Coordinaten eines Punktes der Bahn, α_{max} den Abgangswinkel der grössten Bahn, α_x den Abgangswinkel der Distanz x bezeichnen; in der letzten Gleichung sind α_{max} und α_x in Minuten einzuführen. Markirt man auf einem Gitterbogen vom Punkte *A (Fig. 80)* als Mündungsmittelpunkt auf der

Horizontallinie AZ_0 die fortschreitenden Distanzen x ($Ac_1 = 100$ m/, $Ac_2 = 200$ m/ ...), trägt man ferner auf den Verticalen in den Punkten $c_1\, c_2\, c_3$ ... die aus der obigen Gleichung sich ergebenden Werthe von y ($c_1 b_1 = y_1$, $c_2 b_2 = y_2$, $c_3 b_3 = y_3$...)* auf, so erhält man eine Reihe von Punkten $b_1\, b_2\, b_3$..., welche, mittelst eines biegsamen Lineals verbunden, die grösste Geschossbahn ergeben.

Fig. 80.



Die kürzeste Distanz, aus welcher ein Ziel von der Höhe $\overline{AH_1}$ beschossen werden kann, ergibt sich, wenn man in dieser Entfernung eine Parallele zu AZ_0 zieht, als horizontaler Abstand des Punktes A vom Durchschnittspunkte der Parallelen mit $Ab_1 \ldots Z_0$. Die Distanz des kleinsten noch möglichen Elevationswinkels (der flachsten Flugbahn) findet man, wenn man zwei parallele Gerade AZ_1 und H_1S_1 im Abstande $\overline{AH_1}$ zieht, von welchen die eine durch A geht, die andere aber die Geschossbahn tangirt: Der Tangirungspunkt S_1 ist der Scheitel der gesuchten Bahn, deren Horizontaldistanz AZ_1. Die anzuwendende absolute Elevation ist jene, welche der Distanz AZ_1 (auf der Basis als AZ'_1 abzulesen) entspricht, die auf dem Aufsatz einzustellende relative Elevation ist jene für die Distanz AS'_1. Um diese Winkel (unabhängig von der Schusstafel) auf dem Diagramm abzulesen, verzeichnet man auf einer Verticallinie BC, vom Einschneiden der Ursprungstangente AB angefangen, eine Gradeintheilung (nach den Tangenten),

---

* Man findet nach obiger Formel für 26 c/m Stahlgranaten, wo für die grösste Distanz von 4000 m/ $\alpha_{max} = 8^0\,25' = 505'$ ist,

für $x = 100$ m/,	$y = 14{\cdot}5$ m/,	für $x = 1500$ m/,	$y = 154$ m/
$x = 200$ »	$y = 28{\cdot}5$ »	$x = 2000$ »	$y = 169$ »
$x = 300$ »	$y = 42$ »	$x = 2500$ »	$y = 164$ »
$x = 400$ »	$y = 54$ »	$x = 3000$ »	$y = 136$ »
$x = 500$ »	$y = 67$ »	$x = 3500$ »	$y = 83$ »
$x = 1000$ »	$y = 118$ »	$x = 4000$ »	$y = 0$

der Schnittpunkt r_1 der verlängerten AS_1 markirt den relativen Elevationswinkel $\overline{Br_1}$, der Schnittpunkt a_1 der verlängerten AZ_1 aber den absoluten Elevationswinkel.*

Die Zielhöhe, welche erreicht werden kann, wenn die grösste in der Schusstafel eingetragene Elevation als absolute Elevation in Anwendung kommt, ist $S_0S'_0$, wo S_0 den Tangirungspunkt einer zu AZ_0 Parallelen bezeichnet; die Distanz für die Beschiessung des Zieles von dieser Höhe ist AS'_0.

Soll ein Ziel von der Höhe $AH_2 > S_0S'_0$ beschossen werden, so fällt die durch A zu ziehende der beiden Parallelen unter die Basis, die obere aber tangirt die Geschossbahn in einem Punkte S_2, welcher weiter als S_0 von A abliegt, die Distanz, aus welcher das Ziel beschossen werden kann, ist AS'_2. Die anzuwendende absolute Elevation wird auf der Gradeintheilung BC abgelesen, wozu diese noch unter die Basis fortgesetzt werden muss; diese Ablesung dient als Richtschnur für den Winkel, um welchen das Schiff eventuell übergekrängt werden muss, um die Beschiessung des Zieles zu ermöglichen.

Zum Auffinden der Punkte S und Z der Bahn der kleinsten Elevation, mit welcher ein Ziel von bestimmter Höhe beschossen werden kann, bedient man sich am besten eines transparenten Papiers (Pauspapiers), auf welchem die beiden Parallelen gezogen werden und welches dann auf das Diagramm derart gelegt wird, dass die untere Linie durch A geht, die obere aber die Curve tangirt: Ein leichtes Einstechen des Tangirungspunktes der oberen und des Durchschnittspunktes der unteren Linie markirt diese beiden Punkte auf dem Diagramm. Soll die Beschiessung aus einer gegebenen Distanz** erfolgen und die Richtung mittelst des Richtstabes eingestellt werden, so kann das Winkeldiagramm zur Ermittlung des Positionswinkels $\vartheta + \vartheta'$ benützt werden; hiezu trägt man von der Basis im Distanzpunkte die Höhe des Zieles über dem Meeresniveau auf, verbindet den betreffenden Punkt mit A und verlängert die Verbindungslinie bis BC, wodurch der Positionswinkel $\vartheta + \vartheta'$ von C aufwärts abgeschnitten wird. —

Zur Ermittlung des bestrichenen Raumes für eine bestimmte Zielhöhe H wird zuerst die Mündungshöhe h von A gegen A' aufgetragen, A' mit dem Endpunkte Z der der Schussdistanz zukommenden Bahn verbunden, von der Linie $A'Z$ senkrecht (oder in der Richtung der Ordinaten) die Zielhöhe $= MN$ derart aufgetragen, dass der Endpunkt in einen Punkt M der Curve fällt; MZ ist der bestrichene Theil der Bahn, die Länge des bestrichenen Raumes wird auf der Basis als $N'Z'$ abgelesen.

---

* Für das Einstellen des Aufsatzes und der Richtstabhülse ist das Ablesen der Winkel nicht nöthig, nachdem dieselben Distanzeintheilung haben. Hingegen ist für das Einstellen der Krängungsrectification der Positionswinkel $\vartheta_1 = \overline{r_1a_1}$ der Zielhöhe über dem Mündungshorizont, sowie der Positionswinkel ϑ' der Mündungshöhe nothwendig; den letzteren findet man, wenn man die Mündungshöhe von Z_1 nach abwärts bis P_1 aufträgt, P_1 mit A verbindet und bis BC verlängert, dann ist $\overline{a_1p_1} = \vartheta'_1$, folglich kommt die Krängung um den Winkel $\overline{r_1p_1} = \vartheta_1 + \vartheta'_1$ zu rectificiren.

** Diese muss selbstverständlich grösser sein, als die zulässige kürzeste Distanz, aus welcher das Ziel noch beschossen werden kann.

5.) Die Angaben der Schusstafel über die 50percentigen Abweichungen nach der Breite, Höhe und Länge dienen zur Beurtheilung der Schusspräcision des Geschützes, wobei zu beachten ist, dass sich diese Angaben in der Regel auf die beim Portéeschiessen, also unter den günstigsten Umständen erzielten Resultate gründen. Sie geben daher einen Fingerzeig, welches Mass von Treffwahrscheinlichkeit bei Beschiessung eines Zieles von bestimmter Ausdehnung erwartet und welche Anforderungen in dieser Beziehung bei Ausbildung der Mannschaft im Zielen bei den Schiessübungen gestellt werden können.

Aus V. ist bekannt, dass, günstigste Umstände (vollkommen genaue Kenntniss der Distanz, richtiges Zielen und Erfassen des Zielpunktes beim Abfeuern, unbewegliches Ziel, ruhiger Zustand der Atmosphäre etc.) vorausgesetzt, nur dann mit annähernder Sicherheit darauf gerechnet werden kann, dass kein Schuss fehlgehen wird, wenn beim Zielen auf die Mitte des Objectes die Ausdehnung desselben viermal so gross ist wie die 50percentige Streuung oder achtmal so gross wie die 50percentige Abweichung. Wird z. B. ein verticales Zielobject auf 1000 $^{m}/$ Distanz beschossen, so beträgt nach der Schusstafel die

50percentige Höhenabweichung 0·57 $^{m}/$,
50percentige Seitenabweichung 0·48 $^{m}/$,

es könnte also sicheres Treffen erwartet werden, wenn das Zielobject mindestens $4^1/_2$ $^{m}/$ hoch und 3·8 $^{m}/$ breit ist. Bei kleinerer Ausdehnung des Zieles reducirt sich auch die Sicherheit des Treffens; ist z. B. die Zielhöhe (bei sehr grosser, in dieser Beziehung als unbegrenzt zu betrachtender Breite) gleich der einfachen 50percentigen Streuung = 1·14 $^{m}/$, so kann die Hälfte der Schüsse, — auf ein Ziel von der Höhe der doppelten 50percentigen Streuung = 2·3 $^{m}/$ ungefähr 82 % der Schüsse als Treffer erwartet werden. Vermindert sich auch gleichzeitig die Breite des Zieles, so ist das zu erwartende Trefferpercent das Product der Trefferpercente nach beiden Richtungen; so könnten, wenn sowol die Zielhöhe als auch die Zielweite gleich ist der bezüglichen 50percentigen Streuung (im angenommenen Beispiel die Höhe 1·14 $^{m}/$ und die Breite 0·96 $^{m}/$), nur 25 % Treffer erwartet werden.

Bei Beurtheilung der vom Vormeister erlangten Geschicklichkeit im Zielen nach den erreichten Treffresultaten muss in erster Linie die Zahl der Treffer auf jene Scheibenfläche, welche nahezu 100 % Treffer bedingt (vierfache 50percentige Streuung), sodann die allseitig gleichmässige Gruppirung der Treffer um den Zielpunkt zum Masstabe genommen werden; bei der geringen Zahl der Schüsse, auf welche sich die Beurtheilung in der Regel basirt, hat die Entfernung der einzelnen auf die obige Scheibenfläche gefallenen Treffer vom Zielpunkte nur geringe Bedeutung.*

---

* Der Treffer im Zielpunkt (Centrumschuss) ist als ein Zufall anzusehen, der vereinzelt an sich für die Richtigkeit des Zielens gar nichts beweist, nachdem die Erzielung desselben (insbesondere auf grössere Distanzen wegen der grösseren möglichen Streuungen) nicht vom Schützen allein abhängt.

6.) Die auf die Durchschlagsfähigkeit der Panzergeschosse bezüglichen Angaben der Schusstafel dienen zur Orientirung, ob und auf welche Distanzen die eigenen Geschütze einem Gegner, der durch einen Panzer von bestimmter Stärke geschützt ist, gewachsen sind, um darnach die richtige Wahl des Gegners, mit dem man sich mit Aussicht auf Erfolg in einen ernstlichen Geschützkampf einlassen kann, sowie die Distanz für die Eröffnung des wirksamen Feuers treffen zu können.

Es kann als Grundsatz für die erfolgreiche Durchführung des Feuergefechtes gelten, dass jedes mit Panzergeschützen bestückte Schiff sich nur mit einem solchen feindlichen Panzerschiffe in einen ernsten, anhaltenden Geschützkampf einlassen soll, welches nicht vermöge seines Panzerschutzes (insbesondere an der Wasserlinie) als für die eigenen Geschütze unverwundbar gelten kann.

Beim schiefen Auftreffen des Geschosses vermindert sich die Eindringungstiefe, u. zw. ist diese $D \cos \gamma$, wo D die in der Schusstafel eingetragene Wandstärke, γ den Winkel der Schussrichtung gegen die Normale zur Panzerplatte (siehe V., Punkt 6) bezeichnet. Für kleine Winkel γ (bis $\gamma = 8^0$) ist der Einfluss des schiefen Auftreffens sehr unbedeutend und kann vernachlässigt werden, bei grösseren Winkeln nimmt die Eindringungstiefe ungefähr im folgenden Masse ab:

für	$\gamma = 8^0$	um	1	Percent,
»	$\gamma = 11^0$	»	2	»
»	$\gamma = 14^0$	»	3	»
»	$\gamma = 16^0$	»	4	»
»	$\gamma = 18^0$	»	5	»
»	$\gamma = 20^0$	»	6	»
»	$\gamma = 21\frac{1}{2}^0$	»	7	»
»	$\gamma = 23^0$	»	8	»
»	$\gamma = 24\frac{1}{2}^0$	»	9	»
»	$\gamma = 26^0$	»	10	»

Hieraus ist ersichtlich, dass auf das durch den Einfallwinkel bedingte schiefe Auftreffen innerhalb der in der Praxis (in der Seeschlacht) gewöhnlich vorkommenden Distanzen keine Rücksicht genommen zu werden braucht, nachdem beispielsweise beim 26 cm Stahlgeschoss der Einfallwinkel erst bei einer Distanz von 3300 m $\gamma = 8^0$ übersteigt.

Beispiel. Die Stärke der feindlichen Schiffswand (Panzer sammt Bordwand) wäre 10 Zoll engl. = 254 mm; nach der Schusstafel durchschlägt die 26 cm Stahlgranate, normal auftretend, eine 10zöllige Wand schon auf 1400 m Distanz, es könnte also das Feuer schon auf dieser Distanz mit Aussicht auf genügenden Schusseffect eröffnet werden, wenn sich die feindliche Breitseite normal präsentirt. Wenn sich die feindliche Breitseite unter einem Winkel von 20° gegen die Normale präsentirt, so würde die 10zöllige Schiffswand einem Widerstande von 10:6″ = 269 mm entsprechen, welchem die 26 cm Stahlgranate auf ungefähr 800 m Distanz gewachsen ist; in diesem Falle könnte also erst auf 800 m auf genügenden Schusseffect gerechnet werden. —

Sollte man in die Lage kommen, auf Grund einer unvollständigen Schusstafel (nämlich einer solchen, welche nicht alle eingangs erwähnten Daten, sondern nur einige derselben enthält), sich über die ballistischen Verhältnisse eines bestimmten zu beschiessenden Punktes zu orientiren, oder sollte es wünschenswerth erscheinen, eine solche unvollständige Schusstafel durch Hinzufügung der fehlenden Reihen zu vervollständigen, so führt folgendes Verfahren zum Zweck.

Als der gewöhnlichste Fall kann angenommen werden, dass eine vollständige (für alle Distanzen durchgeführte) Reihe der Abgangswinkel oder Elevationswinkel oder auch nur der Aufsatzhöhen* zur Verfügung steht.

1.) Um aus der Reihe der Aufsatzhöhen die Elevationswinkelreihe abzuleiten, hat man aus der Gleichung

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{L}\frac{\mathfrak{H} + X\sin\beta}{\mathfrak{D} + X\cos\beta},$$

nach welcher die Berechnung der Aufsatzhöhe geschieht, β zu bestimmen. Für kleine Winkel kann $\cos\beta = 1$ gesetzt werden, wornach sich

$$\sin\beta = \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{L}}\left(\frac{\mathfrak{D}}{X} + 1\right) - \frac{\mathfrak{H}}{X},$$

wo $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{H}$ gleich X in Metern, $\mathfrak{L}$ aber in Millimetern einzuführen ist, wenn $\mathfrak{A}$ in diesem Masse gegeben. Wegen $\sin 1' = 0{\cdot}00029$ kann für β in Minuten

$$\beta' = 3448\left[\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{L}}\left(\frac{\mathfrak{D}}{X} + 1\right) - \frac{\mathfrak{H}}{X}\right]$$

gesetzt werden. Für etwas grössere Distanzen, besonders wenn $\mathfrak{D}$ klein ist, genügt die Formel

$$\beta' = 3448\left(\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{L}} - \frac{\mathfrak{H}}{X}\right);$$

für grosse Distanzen und Elevationswinkel ist $tg\beta = \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{L}}$.

Ist auf diese Art die Reihe der Elevationswinkel ermittelt, so findet man den Erhebungswinkel dadurch, dass man mittelst der Differenzreihen den Elevationswinkel für die Distanz $= 0$ aufstellt: Dieser Winkel, mit entgegengesetztem Vorzeichen genommen, ist der Erhebungswinkel, welcher zu jedem Elevationswinkel hinzugeschlagen werden muss, um den Abgangswinkel zu erhalten.

Aus den in obiger Schusstafel (für 26 c/m Stahlgranaten) eingetragenen Aufsatzhöhen findet man nach diesen Gleichungen, da $\mathfrak{L} = 2150$ m/m, $\mathfrak{D} = 3{\cdot}53$ m, $\mathfrak{H} = 0{\cdot}547$ m ist,

---

* D. h. der eingetheilte Aufsatz selbst, von welchem man die Reihe der Aufsatzhöhen durch genaues Abmessen derselben abnimmt.

		Differenz		
für $X = 100$ m/	$\beta = 9 \cdot 4'$		für $X = 1200$ m/,	$\beta = 2^0\ 0'$
» $X = 200$ »	$\beta = 18 \cdot 8'$	$9 \cdot 4'$	» $X = 1400$ »	$\beta = 2^0\ 22'$
» $X = 300$ »	$\beta = 28 \cdot 3'$	$9 \cdot 5'$	» $X = 1600$ »	$\beta = 2^0\ 44'$
» $X = 400$ »	$\beta = 30 \cdot 0'$	$9 \cdot 7'$	» $X = 1800$ »	$\beta = 3^0\ 8'$
» $X = 500$ »	$\beta = 47 \cdot 9'$	$9 \cdot 9'$		
» $X = 600$ »	$\beta = 57 \cdot 9'$	$10 \cdot 0'$	» $X = 2000$ »	$\beta = 3^0\ 33'$
» $X = 700$ »	$\beta = 1^0\ 8 \cdot 0'$	$10 \cdot 2'$	» $X = 2500$ »	$\beta = 4^0\ 37'$
» $X = 800$ »	$\beta = 1^0\ 18 \cdot 2'$	$10 \cdot 2'$	» $X = 3000$ »	$\beta = 5^0\ 47'$
» $X = 900$ »	$\beta = 1^0\ 28 \cdot 4'$	$10 \cdot 2'$	» $X = 3500$ »	$\beta = 7^0\ 3'$
» $X = 1000$ »	$\beta = 1^0\ 38 \cdot 9'$	$10 \cdot 5'$	» $X = 4000$ »	$\beta = 8^0\ 25'$

Nach der Differenzreihe ergibt sich für die Distanz $X = 0$ der Elevationswinkel $\beta = 0$, daher ist kein Erhebungswinkel vorhanden.

2.) Bezeichnet x die Entfernung eines Punktes von der Mündung, y die Höhe desselben über dem Mündungshorizont, α_0 den Abgangswinkel (β_0 Elevationswinkel) einer Bahn, welche durch diesen Punkt geht und deren Horizontaldistanz $= x_0$ ist, so besteht die Gleichung

$$y = x\,tg\,\alpha_0 - \frac{gx^2}{2V^2 \cos^2\alpha_0}\,\mathfrak{Y} = \frac{x}{2\cos^2\alpha_0}\left[\sin 2\alpha_0 - \frac{gx}{V^2}\,\mathfrak{Y}\right];$$

für x als Horizontaldistanz eines Abgangswinkels α (Elevationswinkel β) ist

$$\sin 2\alpha = \frac{gx}{V^2}\,\mathfrak{Y},$$

daher ist

$$y = \frac{x}{2\cos^2\alpha_0}\left[\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha\right].$$

Bei geringer Verschiedenheit von α_0 und α kann $\frac{\sin 2\alpha}{2\cos^2\alpha_0} = tg\,\alpha$ gesetzt werden, wodurch

$$y = x\,(tg\,\alpha_0 - tg\,\alpha)$$

wird, wofür auch

$$y = x\,(tg\,\beta_0 - tg\,\beta)$$

eingeführt werden kann; ebenso ist in diesem Falle und bei kleinen Winkeln (flachen Flugbahnen) die Ersetzung der Tangentendifferenz durch Sinus oder Bogendifferenz zulässig, also

$$y = x\,(\sin\alpha_0 - \sin\alpha) = x\,(\sin\beta_0 - \sin\beta)$$

$$y = x\,(arc\,\alpha_0 - arc\,\alpha) = x\,(arc\,\beta_0 - arc\,\beta).$$

Nachdem $arc\,1' \,(= \sin 1' = tg\,1') = 0 \cdot 00029$, so ist, wenn x^n die Distanz in Hundertmetern (Nominaldistanz) bezeichnet, y in Metern,

$$y\ \text{m/} = 0 \cdot 029\,x^n(\alpha'_0 - \alpha') = 0 \cdot 029\,x^n(\beta'_0 - \beta')$$

wo α_0, α, β_0 und β als Winkel in Minuten einzuführen sind. Nach der einfachen Formel $\mathfrak{A} = \mathfrak{L}\,tg\,\beta$ für die Aufsatzhöhen kann auch

$$y = \frac{x}{\mathfrak{L}}\,(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{A})$$

gesetzt werden, wo $\mathfrak{A}_0$ die Aufsatzhöhe für x_0, $\mathfrak{A}$ aber für x ist. Diese Gleichungen können hauptsächlich zur ungefähren Orientirung über die Höhe desjenigen Punktes in der Entfernung x dienen, welcher beim Schiessen mit der Elevation α_0 (β_0), Aufsatz $\mathfrak{A}_0$, getroffen wird, um zu beurtheilen, ob bei zweifelhafter Schätzung der Distanz das Zielobject von bestimmter Höhe noch getroffen werden kann.*

Beispiel. Die Distanz des 7 m/ hohen Zielobjectes wird auf 1000 bis 1200 m/ geschätzt, man richtet, um nicht zu kurz zu schiessen, auf 1200 m/; dieser Distanz entspricht eine Elevation von $\beta_0 = 2^0$, Aufsatz $\mathfrak{A}_0 = 75\cdot 7$ m/m, der Distanz von 1000 m/ aber $\beta = 1^0\,39'$, $\mathfrak{A} = 62\cdot 6$ m/m, die Länge der Visirlinie ist $\mathfrak{L} = 2150$ m/m. Aus obigen Gleichungen folgt $y = 6\cdot 09$ m/, folglich kann das Ziel noch getroffen werden, auch wenn die Distanz nur 1000 m/ ist.

3.) Aus der obigen Gleichung $y = \frac{x}{2\cos^2\alpha_0}(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha)$, in welcher α_0 als constant zu betrachten ist, ergibt sich durch Differentiation nach x der Tangentenwinkel $tg\,\varphi = \frac{dy}{dx}$ im Punkte (x, y); es ist

$$tg\,\varphi = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha - x\,\frac{d\sin 2\alpha}{dx}\right).$$

$d\sin 2\alpha$ und dx sind durch endliche Differenzen zu ersetzen: ändert sich in der Distanz x bei Zu- oder Abnahme derselben um 100 m/ der Winkel α derart, dass $\sin 2\alpha$ die Aenderung $\Delta \sin 2\alpha$ erfährt, so ist annähernd

$$\frac{d\sin 2\alpha}{dx} = \frac{\Delta\sin 2\alpha}{100}$$

und

$$tg\,\varphi = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha - x^n\Delta\sin 2\alpha)$$

zu setzen.

Auf dieselbe Art folgt aus den anderen Gleichungen

$$tg\,\varphi = tg\,\alpha_0 - tg\,\alpha - x^n\Delta\,tg\,\alpha,\quad tg\,\varphi = \sin\alpha_0 - \sin\alpha - x^n\Delta\sin\alpha,$$

$$tg\,\varphi = arc\,\alpha_0 - arc\,\alpha - x^n\Delta\,arc\,\alpha,$$

für kleine Winkel hinreichend genau

$$\varphi = \alpha_0 - \alpha - x^n\Delta\alpha.$$

Aus der Gleichung für die Aufsatzhöhen folgt

$$tg\,\varphi = \frac{1}{\mathfrak{L}}(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{A} - x^n\Delta\mathfrak{A}).$$

Beispiel. Soll beim Schiessen auf Distanz $x_0 = 1500$ m/ der Tangentenwinkel für die Entfernung $x = 1200$ m/ bestimmt werden, so gibt die Schusstafel für $\alpha_0 = 2^0\,33'$, für $\alpha = 2^0$, für $\Delta\alpha = 11'$, folglich ist

$$\varphi = 2^0\,33' - 2^0 - 12 \times 11' = -1^0\,39'.$$

---

* Vorausgesetzt ist hiebei, dass die Angaben über die bestrichenen Räume fehlen.

Nach der Reihe der Aufsatzhöhen ist $\mathfrak{A}_0 = 96 \cdot 2$ m/m, $\mathfrak{A} = 75 \cdot 7$ m/m, $\Delta\mathfrak{A} = 6 \cdot 65$ m/m,* daher $tg\,\varphi = \frac{1}{2150}(96 \cdot 2 - 7557 - 12 \times 6 \cdot 65) = -0 \cdot 0276$, woraus $\varphi = -1^0\,34'$ folgt. Für $x = 2000$ m/ und $x_0 = 2500$ m/ findet man nach der Reihe der Elevationswinkel $\varphi = -3^0\,6'$, nach der Reihe der Aufsatzhöhen $\varphi = -3^0\,3'$. —

Soll der einer bestimmten Distanz x zugehörige Einfallwinkel Φ_x ermittelt werden, so ist, nachdem x_0 in x und α_0 in α übergeht,

$$tg\,\Phi_x = \frac{x}{2\,cos^2\,\alpha} \cdot \frac{d\,sin\,2\alpha}{dx},\quad tg\,\Phi_x = \frac{x^n}{2\,cos^2\,\alpha} \cdot \Delta\,sin\,2\alpha,$$

$$tg\,\Phi_x = x\,.\,\Delta\,tg\,\alpha,\quad tg\,\Phi_x = x^n\,.\,\Delta\,arc\,\alpha,$$

und für kleinere Winkel $\qquad \Phi_x = x^n\,.\,\Delta\alpha;$

ebenso ist $\qquad tg\,\Phi_x = \frac{x}{\mathfrak{L}} \cdot \Delta\mathfrak{A}.$

Nach diesen Gleichungen kann aus der Reihe der Elevationswinkel oder der Aufsatzhöhen die vollständige Reihe der Einfallwinkel abgeleitet werden. So würde man nach der Gleichung

$$\Phi_x = x^n\,.\,\Delta\alpha$$

folgende Reihe der Einfallwinkel finden:

für	$x = 100$ m/,	$\Phi_x =$	9′,	die Schusstafel	hat	9′
»	$x = 200$ »	$\Phi_x =$	19′,	»	»	19′
»	$x = 300$ »	$\Phi_x =$	29′,	»	»	29′
»	$x = 400$ »	$\Phi =$	40′,	»	»	39′
»	$x = 500$ »	$\Phi =$	50′,	»	»	50′
»	$x = 600$ »	$\Phi =$	1^0,	»	»	1^0
»	$x = 700$ »	$\Phi =$	$1^0\,10'$,	»	»	$1^0\,11'$
»	$x = 800$ »	$\Phi =$	$1^0\,23'$,	»	»	$1^0\,22'$
»	$x = 900$ »	$\Phi =$	$1^0\,34'$,	»	»	$1^0\,34'$
»	$x = 1000$ »	$\Phi =$	$1^0\,40'$,	»	»	$1^0\,46'$
»	$x = 1500$ »	$\Phi =$	$2^0\,52'$,	»	»	$2^0\,51'$
»	$x = 2000$ »	$\Phi =$	$4^0\,10'$,	»	»	$4^0\;6'$

welche Reihe durch entsprechende Ausgleichung der Differenzen geordnet werden kann.

4.) Aus den Gleichungen $\frac{d^2y}{dt^2} = -g$ und $\frac{dx}{dt} = v\,cos\,\varphi$** folgt für die Geschwindigkeit v oder die Horizontalcomponente $v\,cos\,\varphi$ derselben

$$\frac{g}{v^2\,cos^2\,\varphi} = -\frac{d^2y}{dx^2};$$

* Für $\Delta\mathfrak{A}$ nimmt man das Mittel der von der Distanz x nach auf- und abwärts laufenden Differenzen, wenn diese beiden, wie dies hier der Fall, nicht gleich sind.

** Siehe unter II. dieses Abschnittes.

wird die obige Gleichung

$$\frac{dy}{dx} = tg\,\varphi = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha - x\,\frac{d\sin 2\alpha}{dx}\right)$$

weiters nach x differenzirt, so erhält man

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left[-\frac{d\sin 2\alpha}{dx} - x\,\frac{d^2\sin 2\alpha}{dx^2} - \frac{d\sin 2\alpha}{dx}\right] =$$

$$= -\frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left(2\,\frac{d\sin 2\alpha}{dx} + x\,\frac{d^2\sin 2\alpha}{dx^2}\right),$$

folglich ist

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left(2\,\frac{d\sin 2\alpha}{dx} + x\,\frac{d^2\sin 2\alpha}{dx^2}\right)$$

und durch Einführung der endlichen ersten und zweiten Differenzen $\Delta\sin 2\alpha$ und $\Delta^2\sin 2\alpha$ für $\Delta x = 100$ m/

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{200\cos^2\alpha_0}\left(2\Delta\sin 2\alpha + x\,\Delta^2\sin 2\alpha\right),$$

ebenso

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{100}\left(2\Delta\,tg\,\alpha + x^n\Delta^2\,tg\,\alpha\right)$$

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{100}\left(2\Delta\,arc\,\alpha + x^n\Delta^2\,arc\,\alpha\right)$$

oder mit Rücksicht auf $arc\,1' = 0\cdot00029$

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = 0\cdot0000029\left(2\Delta\alpha' + x^n\Delta^2\alpha'\right);$$

wird $g = 9\cdot805$ m/ eingesetzt, so folgt

$$v\cos\varphi = \frac{1836}{\sqrt{2\Delta\alpha' + x^n\Delta^2\alpha'}}.$$

Für Benützung der Reihe der Aufsatzhöhen ist

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{100\mathfrak{L}}\left(2\Delta\mathfrak{A} + x^n\Delta^2\mathfrak{A}\right),$$

woraus

$$v\cos\varphi = 31\cdot31\sqrt{\frac{\mathfrak{L}}{2\Delta\mathfrak{A} + x^n\Delta^2\mathfrak{A}}}$$

folgt.

Diese Gleichungen geben die Tangentialgeschwindigkeit eines Punktes in der Entfernung x von der Mündung, dessen Tangentenwinkel $= \varphi$ ist; sie gelten auch für die Endgeschwindigkeit in der Distanz x, wenn für φ der Einfallwinkel Φ dieser Distanz eingesetzt wird.

Sind die Glieder der benützten (Elevationswinkel- oder Aufsatzhöhen-) Reihe derart abgerundet, dass die zweiten Differenzen nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden könnten,* so empfiehlt sich die Heranziehung der

---

* Wie dies in der obigen Schusstafel der Fall ist, wo die Elevationswinkel auf Minuten abgerundet sind.

Einfallwinkelreihe, welche entweder nebst der Elevationswinkelreihe gegeben ist oder aus dieser auf oben beschriebene Weise abgeleitet wurde. Nach Obigem ist

$$tg\,\Phi_x = \frac{x}{2\cos^2\alpha}\cdot\frac{d\sin 2\alpha}{dx};$$

setzt man diesen Werth in die Gleichung

$$\frac{dy}{dx} = tg\,\varphi = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\left(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha - x\,\frac{d\sin 2\alpha}{dx}\right)$$

ein, so erhält man

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha) - \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\alpha_0}\cdot tg\,\Phi;$$

ebenso ist annähernd

$$\frac{dy}{dx} = tg\,\alpha_0 - tg\,\alpha - tg\,\Phi_x,\quad \frac{dy}{dx} = arc\,\alpha_0 - arc\,\alpha - arc\,\Phi_x,\quad \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\mathfrak{L}}(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{A}) - tg\,\Phi_x.$$

Werden diese Gleichungen nach x differencirt und dann wie oben verfahren, so ergibt sich annähernd

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}\cdot\frac{\Delta\sin 2\alpha + \Delta\,tg\,\Phi_x}{100},$$

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{\Delta\,tg\,\alpha + \Delta\,tg\,\Phi_x}{100},\quad \frac{y}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{\Delta\,arc\,\alpha + \Delta\,arc\,\Phi_x}{100}$$

$$\frac{g}{(v\cos\varphi)^2} = \frac{\Delta\mathfrak{A}}{100\mathfrak{L}} + \frac{\Delta\,tg\,\Phi_x}{100};$$

aus diesen Gleichungen folgt mit (für kleinere Elevationswinkel) hinreichender Genauigkeit

$$v\cos\varphi = \frac{1836}{\sqrt{\Delta\alpha' + \Delta\Phi'}},\quad v\cos\varphi = 31\cdot31\sqrt{\frac{\mathfrak{L}}{\Delta\mathfrak{A} + 0\cdot00029\,\mathfrak{L}\Delta\Phi'}}.$$

Die Endgeschwindigkeit U_x für die Distanz $= x$ ist sodann

$$U_x = \frac{1836}{\cos\Phi_x\sqrt{\Delta\alpha' + \Delta\Phi'}}$$

$$U_x = \frac{31\cdot31}{\cos\Phi_x}\sqrt{\frac{\mathfrak{L}}{\Delta\mathfrak{A} + 0\cdot00029\,\mathfrak{L}\Delta\Phi'}}$$

oder auch, nachdem für kleine Winkel $\cos\Phi$ nicht viel von der Einheit verschieden ist,

$$U_x = \frac{1836}{\sqrt{\Delta\alpha' + \Delta\Phi'}} = 31\cdot31\sqrt{\frac{\mathfrak{L}}{\Delta\mathfrak{A} + 0\cdot00029\,\mathfrak{L}\Delta\Phi'}}.$$

Rechnet man für die 26 c/m Stahlgranate die Endgeschwindigkeiten: (I) aus der Elevations- und Einfallwinkelreihe, sodann (II) aus der Aufsatzhöhen- und Einfallwinkelreihe und vergleicht die Resultate mit (III) den Angaben der Schusstafel, so hat man

für $x =$	$U =$ I.	II.	III.
500 m	401 m	409 m	405 m
1000 »	380 »	389 »	385 »
1500 »	365 »	366 »	366 »
2000 »	345 »	346 »	347 »
2500 »	328 »	329 »	329 »
3000 »	310 »	309 »	312 »
3500 »	295 »	295 »	297 »
4000 »	281 »	284 »	283 »

Wie man sieht, stimmen die Reihen I und II genügend gut mit der Schusstafelreihe überein; werden diese Reihen durch Ausgleichung der Differenzen geordnet und die Zwischenglieder durch Interpolation eingefügt, so erhält man die vollständige Reihe der Endgeschwindigkeiten; durch Fortführung derselben bis $x = 0$ ergibt sich die Anfangsgeschwindigkeit.

5.) Für die einer bestimmten Entfernung x entsprechende Flugzeit t folgt aus

$$\frac{dx}{dt} = v\cos\varphi, \quad dt = \frac{dx}{v\cos\varphi}, \quad t = \int_0^x \frac{dx}{v\cos\varphi};$$

zur Berechnung der Flugzeit für x als Horizontaldistanz kann annähernd für $v\cos\varphi$ das arithmetische Mittel zwischen der Horizontalprojection der Anfangs- und der Endgeschwindigkeit, nämlich $\frac{1}{2}(V\cos\alpha + U_x\cos\Phi_x)$ gesetzt werden, womit

$$T_x = \frac{x}{\frac{1}{2}(V\cos\alpha + U_x\cos\Phi_x)}$$

wird, für kleine Winkel auch $T_x = \dfrac{x}{\frac{1}{2}(V + U_x)}$.

Nach diesen Gleichungen findet man für obiges Geschoss

für $x =$			die Schusstafel hat
500 m,	T =	1·20 Sec.,	1·19 Sec.
» $x = 1000$ »	T =	2·46 »	» » » 2·46 »
» $x = 1500$ »	T =	3·78 »	» » » 3·80 »
» $x = 2000$ »	T =	5·17 »	» » » 5·21 »
» $x = 2500$ »	T =	6·63 »	» » » 6·70 »
» $x = 3000$ »	T =	8·14 »	» » » 8·28 »
» $x = 3500$ »	T =	9·75 »	» » » 9·96 »
» $x = 4000$ »	T =	11·41 »	» » » 11·75 »

6.) Wird in der Gleichung

$$tg\,\varphi = \frac{1}{2\cos^2\alpha_0}(\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha - x^n \Delta \sin 2\alpha)$$

$tg\,\varphi = 0$ gesetzt, so bedeutet x die Scheiteldistanz der Bahn vom Abgangswinkel $= \alpha_0$; bezeichnet man die Scheiteldistanz mit x_1, den derselben als Horizontaldistanz zukommenden Abgangswinkel mit α_1 (Aufsatzhöhe $= \mathfrak{A}_1$), so ist

$$\sin 2\alpha_0 = \sin 2\alpha_1 + x_1^n \Delta \sin 2\alpha_1$$

oder annähernd

$$tg\,\alpha_0 = tg\,\alpha_1 + x_1^n \Delta\, tg\,\alpha_1\,,\quad arc\,\alpha_0 = arc\,\alpha_1 + x_1^n \Delta\, arc\,\alpha_1\,,\quad \mathfrak{A}_0 = \mathfrak{A}_1 + \mathfrak{L} x_1^n \Delta \mathfrak{A}_1\,,$$

für kleine Winkel auch $\alpha_0 = \alpha_1 + x_1^n \Delta \alpha_1$.

Bei Benützung dieser Gleichungen muss in der Reihe der Abgangswinkel (Aufsatzhöhen) diejenige Distanz gesucht werden, welche im Zusammenhalt mit ihrem Winkel (ihrer Aufsatzhöhe) der Gleichung genügt. Dieser etwas umständliche Vorgang lässt sich durch Heranziehung der etwa vorhandenen oder bereits ermittelten Einfallwinkelreihe vereinfachen. Wird nämlich, wie oben unter 3.)

$$x \frac{d \sin 2\alpha_1}{dx} = 2\cos^2\alpha_1 \,.\, tg\,\Phi_1 \quad \text{oder} \quad x^n \Delta \sin 2\alpha = 2\cos^2\alpha \,.\, tg\,\Phi_1$$

eingeführt, so hat man die Gleichungen

$$\sin 2\alpha_0 = \sin 2\alpha_1 + 2\cos^2\alpha_1 \,.\, tg\,\Phi_1\,,\quad tg\,\alpha_0 = tg\,\alpha_1 + tg\,\Phi_1\,,\quad \mathfrak{A}_0 = \mathfrak{A}_1 + \mathfrak{L}\, tg\,\Phi_1$$

und für flache Bahnen $\alpha_0 = \alpha_1 + \Phi_1$.

Um nach der letzteren Gleichung die Scheiteldistanz z. B. für die Horizontaldistanz $X = 1000$ m/ zu finden, so nimmt man zuerst den dieser letzteren entsprechenden Elevationswinkel α_0 aus der Schusstafel heraus, dieser ist für 26 c/m Stahlgranaten $\alpha_0 = 1^0\,39'$; sodann setzt man versuchsweise $x_1 = \frac{1}{2} X = 500$ m/ und vergleicht die Summe des Abgangs- und des Einfallwinkels dieser letzteren Distanz $(\alpha_1 + \Phi_1)$ mit α_0, diese Summe ist $1^0\,38'$, folglich muss $\frac{1}{2} X$ entsprechend der Differenz $\alpha_0 - 1^0\,38' = 1'$ corrigirt werden. Beim Uebergang von 500 auf 600 m/ Distanz wächst sowol α als Φ für jeden Meter um $0\cdot1'$, folglich $\alpha + \Phi$ um $0\cdot2'$, demnach ist für $x = 505$ m/, $\alpha + \Phi = 1^0\,39'$ und $x_1 = 505$ m/ die gesuchte Scheiteldistanz.

Aus der Scheiteldistanz ergibt sich die Scheitelhöhe y_1 nach den in 2.) aufgestellten Gleichungen, wenn in derselben x_1 statt x eingeführt wird; es ist nämlich

$$y_1 = \frac{x_1}{2\cos^2\alpha_0} [\sin 2\alpha_0 - \sin 2\alpha_1]$$

oder annähernd

$$y_1 = x_1 (tg\,\alpha_0 - tg\,\alpha_1)\,,\quad y_1 = x_1 (\sin\alpha_0 - \sin\alpha_1)\,,\quad y_1 = 0\cdot029 x_1^n (\alpha'_0 - \alpha'_1)\,,$$

$$y_1 = \frac{x_1}{\mathfrak{L}} (\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{A}_1).$$

Rechnet man nach den einfachsten Formeln $\alpha_0 = \alpha_1 + \Phi_1$ und $y_1 = 0\cdot029\, x_1^n (\alpha'_0 - \alpha'_1)$ die Scheiteldistanzen und Scheitelhöhen für die 26 c/m Stahlgranate, so hat man

für	$X = 500$ m/	Distanz,	$x_1 = 253$ m/,	$y_1 = 1\cdot8$ m/
»	$X = 1000$ »	»	$x_1 = 505$ »	$y_1 = 7\cdot4$ »
»	$X = 1500$ »	»	$x_1 = 767$ »	$y_1 = 17\cdot4$ »
»	$X = 2000$ »	»	$x_1 = 1041$ »	$y_1 = 33\cdot5$ »
»	$X = 2500$ »	»	$x_1 = 1312$ »	$y_1 = 55$ »
»	$X = 3000$ »	»	$x_1 = 1592$ »	$y_1 = 85$ »
»	$X = 3500$ »	»	$x_1 = 1870$ »	$y_1 = 122$ »
»	$X = 4000$ »	»	$x_1 = 2157$ »	$y_1 = 170$ »

Der Vergleich dieser Zahlen mit den analogen, in der Schusstafel eingetragenen, zeigt eine genügende Uebereinstimmung.

7.) Nach Ermittlung der im Vorstehenden angegebenen Hauptdaten unterliegt die Berechnung der etwa noch wünschenswerthen Daten, als: bestrichener Raum für verschiedene Zielhöhen, Mass des Vorrichtens beim Schiessen gegen ein mit bestimmter Geschwindigkeit sich bewegendes Zielobject, lebendige Kraft des Geschosses und Durchschlagseffect des Panzergeschosses gegen Panzerplatten, — keiner weiteren Schwierigkeit, nachdem die hiefür giltigen Gleichungen unter IV. angegeben sind.

Um aus den vom Aufsatze abgenommenen Seitenverschiebungen die Seitenabweichungen (Derivationen) des Geschosses zu bestimmen, hat man durch Umkehrung der für die Berechnung der Seitenverschiebung dienenden Formel $\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{L}}{X}(z \mp \Sigma)$

$$z = X\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{L}} \pm \Sigma,$$

wo $\mathfrak{L}$ in demselben Masse wie die Seitenverschiebung $\mathfrak{S}$, Σ aber, die Seitenstellung des Aufsatzes, gleich X in Metern einzuführen ist und z ebenfalls in Metern resultirt. Die Seitenverschiebung nach rechts ist negativ einzusetzen; das obere Zeichen vor Σ gilt für den rechtsseitigen, das untere aber für den linksseitigen Aufsatz.

Kurze Schiessregeln für Marinegeschütze.

1.) Kampf von Schiffen gegen Schiffe.

Von den Hauptgeschützen des Schiffes werden feindliche Panzerschiffe mit Panzergeschossen,* ungepanzerte Schiffe aber mit Zündgranaten bekämpft. Nachdem ein Treffer an der Wasserlinie der wirksamste ist, so wird im Allgemeinen die Höhenrichtung gegen diese Linie angetragen. Hiebei ist jedoch, besonders bei nicht genau bekannter Distanz, die Elevation lieber etwas grösser zu nehmen, um zu kurz gehende Schüsse, welche nur als wenig wirksame Geller treffen könnten, zu vermeiden. Der Feuerart nach empfiehlt sich das Lagenfeuer (concentrirtes Feuer bis höchstens 800 $^{m}/$, darüber eventuell Parallelfeuer, mit gleichzeitiger Abfeuerung aller Geschütze) nur auf kürzere Distanzen, — auf grössere Distanzen wird Vormeisterfeuer abgegeben. Die Schussdistanz (insbesondere bei grösserer Entfernung des Zieles) soll, wenn thunlich, stets mittelst des Objectivmikrometers gemessen und während des Vormeisterfeuers jede grössere Aenderung der Distanz sofort den Vormeistern avisirt werden. — Die richtige Wahl des Abfeuerungsmomentes ist eine wesentliche Bedingung des Treffens. Bei Rollbewegungen des Schiffes muss die Visirlinie fest im Auge behalten werden, um das

* Sollte ein Schiff den Kampf mit einem Gegner, welcher vermöge seines Panzerschutzes als für die eigenen Geschütze unverwundbar erscheint, nicht vermeiden können, so empfiehlt sich die mindestens theilweise Anwendung anderer Kampfmittel, welche, soweit die Artillerie in Frage kommt, im Beschiessen ungepanzerter Schiffstheile mit Zündergranaten bestehen.

Eintreffen derselben auf den Zielpunkt beurtheilen zu können; dies geschieht leichter in der hebenden Phase der Rollbewegung, wobei der Endpunkt der Visirlinie die Wasseroberfläche zwischen dem eigenen und dem fremden Schiffe durchlauft, daher in der Regel diese Phase abgewartet werden soll, — ausser bei sehr bedeutenden, schnell verlaufenden Schiffsschwingungen, in welchem Falle die nach dem Schusse stattfindende Neigung der Geschützunterlage gegen rückwärts den Rücklauf beträchtlich vergrössern würde. Bezüglich der Seitenrichtung ist die Bewegung des Zielobjectes sowie die Stärke und Richtung des Windes zu berücksichtigen, um diesen Einflüssen durch entsprechendes Vorrichten (nach der Schusstafel) und Abhalten nach der Windseite Rechnung tragen zu können.

Die Beigeschütze auf Panzerschiffen, sowie kleine Geschütze überhaupt, schiessen gegen ungepanzerte Bordwände und Deckhütten, sowie gegen Torpedolancirvorrichtungen und Torpedo, Zündergranaten, gegen Holztheile und andere brennbare Objecte Brandgeschosse, gegen Mannschaft auf Deck, in den Marsen etc. je nach der Distanz Shrapnels oder Kartätschen.

Die Matrailleusen richten ihr Feuer gegen Torpedovorrichtungen und Torpedo sowie gegen die feindlichen Decke und Marsen, wobei sie im Bereich des wirksamen Ertrages der Handfeuerwaffen von diesen unterstützt werden und als Zielpunkte in erster Linie die Commandanten, die Offiziere an den Peilinstrumenten und diese selbst zu wählen haben.

2.) Bekämpfung von Booten.

Die Torpedoboote werden von den kleinen Geschützen mit Zündergranaten beschossen, weil die Kartätschgeschosse, der geringen Durchschlagskraft der Schrote wegen, in der Regel ungenügende Wirkung hätten. Die wirksamste Waffe gegen diese Boote ist jedoch die Mitrailleuse, weil die Geschosse derselben eine genügende Percussionswirkung haben und das continuirliche Feuer ein unausgesetztes Verfolgen des Zielobjectes mit dem Trefferrayon ermöglicht. Jedoch darf, um ein nutzloses Verschiessen der Munition nicht eintreten zu lassen, auf Distanzen über 1000 m/ das Feuer nur langsam abgegeben und erst beim Anlangen des Bootes innerhalb dieser Schussweite zum Schnellfeuer übergangen werden. Gegen andere, offene Boote, werden von den kleinen Geschützen ausserhalb des Ertrages der Kartätschgeschosse Zündergranaten, auf kürzere Distanzen Shrapnels und auf die nächsten Distanzen Kartätschen angewendet. Ausserdem lässt man gegen solche Boote auch Mitrailleusen und das Kleingewehr wirken.

3.) Beschiessung von Küstenbefestigungen.

Gegen gepanzerte Werke werden Panzergeschosse, gegen gemauerte Werke oder Erdwerke aber Zündergranaten angewendet. Das Feuer wird in erster Linie gegen die Schiesscharten gerichtet, um diese zu zerstören und die feindlichen Geschütze zu demontiren. Darnach wird die Zerstörung der Befestigung als Bau ins Auge gefasst, zu welchem Zwecke die Schüsse gegen die Strebepfeiler, gegen Schlussteine von Gewölben etc. die wirksamsten sind. Ueber die Distanz, aus welcher eine feindliche Befestigung von bekannter Höhe über der eigenen Batterie beschossen werden kann, orientirt man sich mittelst der Schuss-

tafel und des derselben beigefügten Diagramms in der zum »Gebrauch der Schusstafel«, Punkt 4, angegebenen Weise. Hiebei ist jedoch Folgendes zu merken: Die Aufstellung auf sehr kurzen, innerhalb der Scheiteldistanz der flachsten Flugbahn fallenden Distanzen ist nicht von Vortheil, weil dadurch dem Feinde Gelegenheit geboten wird, Stechschüsse gegen das eigene Schiffsdeck anzubringen, während andererseits durch den Umstand, dass alsdann der Zielpunkt in den aufsteigenden Ast der eigenen Flugbahn fällt und schiefes, mit der Verminderung des Schusseffectes verbundenes Auftreffen des Geschosses stattfindet, der Vortheil der kleineren Distanz theilweise compensirt wird. Man wird daher in der Regel keine kürzere Distanz als die Scheiteldistanz der flachsten Flugbahn wählen. — Auch hier soll auf grössere Distanzen das Vormeisterfeuer und nur auf kürzere Distanzen (in der Regel unter 1000 m/) das Lagenfeuer platzgreifen; im letzteren Falle ist bei Anwendung des Richtstabes zur Höhenrichtung zu berücksichtigen, dass die Distanzscala auf das Schiessen gegen die Wasserlinie eines feindlichen Schiffes basirt ist, daher der Positionswinkel, welcher sich aus der Höhe des feindlichen Werkes über der Wasseroberfläche ergibt, bei der Krängung in Anschlag gebracht werden muss.* Ebenso muss in Betracht gezogen werden, dass das Peilinstrument nicht für Seitenverschiebung eingetheilt ist, daher einer grösseren Seitenabweichung des Geschosses sowie dem eventuellen Einflusse des Windes durch entsprechendes Abrichten Rechnung getragen werden muss. Unter allen Umständen muss vor Ausführung des Lagenfeuers, besonders wenn die Distanz und Höhe des Zielpunktes nicht ganz genau bekannt ist, die einzustellende Richtung durch einige Schüsse mit einzelnen Geschützen festgestellt werden. Dieses Einschiessen** auf den Zielpunkt muss übrigens auch beim Vormeisterfeuer stattfinden, bevor den Vormeistern die definitive einzuhaltende Richtung (Aufsatzstellung) angegeben wird. Um sich rasch einzuschiessen, soll die angenommene Richtung nicht früher corrigirt werden, als bis der ihr entsprechende mittlere Treffpunkt mit ziemlicher Genauigkeit ermittelt ist, wozu ungefähr drei Schüsse nothwendig sind; es darf daher nach dem ersten Schusse nur dann eine Correctur der Richtung vorgenommen werden, wenn überhaupt kein Treffer erzielt wurde. Nachdem die — horizontale und verticale — Abweichung des einer bestimmten Richtung entsprechenden Treffpunktes vom Zielpunkte constatirt wurde, wird die Correctur der Richtung nach der Schusstafel, welche die einer Aenderung der Aufsatzeinstellung (Aufsatzhöhe und Seitenverschiebung) von 1 m/m zukommende Verlegung des Treffpunktes angibt, ausgeführt. Durch eine neuerliche Serie von (drei) Schüssen versichert man sich über die Genauigkeit der corrigirten Richtung, welche eventuell nochmals corrigirt wird.

Die kleinen Geschütze wirken gegen die offenen Küstenbatterien und die Plattformen der Küstenthürme mit Shrapnels, eventuell, wenn die feindlichen

---

* Siehe Gebrauch der Schusstafel, Punkt 4.

** Nachdem es sich beim Einschiessen nur um die Controle der supponirten Position des Zielobjectes handelt, so ist es nicht nothwendig, dass dasselbe mit der zum wirklichen Kampfe zu verwendenden Geschossgattung vorgenommen werde; man wird beispielsweise zum Einschiessen nicht Panzergeschosse, sondern stets Zündergranaten, eventuell solche der Nebengeschütze, anwenden.

Geschütze durch Schiesscharten feuern, durch indirecte Schüsse mit Zündergranaten und Wurfkardusen. Der indirecte Schuss muss, um wirksam zu sein, möglichst nahe über der Kammlinie des feindlichen Werkes angetragen werden, jedoch nicht an die Kammlinie selbst, weil in diesem Falle alle zu kurz gehenden Schüsse die feindliche Brustwehre treffen und als Geller wirkungslos über den Wallgang hinweggehen;* die Höhe des Zielpunktes über der Kammlinie kann gleich der 50percentigen Höhenabweichung des eigenen Geschützes angenommen werden, so dass nur die Hälfte der zu kurz gehenden Schüsse die feindliche Brustwehre treffen.

Die Beschiessung von feindlichen Häfen und Küstenstädten (das Bombardement) geschieht mit Zündergranaten, wobei in erster Linie die maritimen Etablissements: Arsenäle, Werften etc., und sonstige wichtige Gebäude als Zielpunkt genommen werden.

Zur Unterstützung von Landungen werden feindliche Truppen, welche die Landung zu verhindern trachten, von den Beigeschützen der Schiffe und den Bootsgeschützen mit Shrapnels, ferner mit Mitrailleusen und Kleingewehr beschossen.

4.) Schiessen aus dem Landungsgeschütz.

Die Landungsgeschütze werden selten im Stande sein, feindliche Befestigungen zu durchschiessen; sie werden daher in der Regel gegen feindliche Deckungen Shrapnelschüsse oder Granatwürfe anwenden. Bezüglich der Würfe ist das unter 3.) Gesagte zu beachten. Am häufigsten werden ungedeckt stehende Truppen zu beschiessen sein, gegen welche je nach der Distanz Kartätschen, Shrapnels oder (ausserhalb der wirksamen Shrapneldistanz) Zündergranaten angewendet werden.

Zur Feststellung der Distanz, welche nach dem Augenmass geschätzt wird, bedient man sich in der Regel selbst innerhalb der wirksamen Shrapneldistanz der Zündergranaten, da diese infolge der beim Aufschlage erfolgenden Explosion die erreichte Distanz am besten beurtheilen lassen.** Bei diesem Einschiessen muss man trachten, mit dem ersten Schusse nicht zu weit zu kommen, um den Aufschlag beobachten zu können. Sollte dies dennoch geschehen sein, so muss für den nächsten Schuss der Aufsatz um so viel vermindert werden, dass man sicher zu kurz kommt; hiedurch bringt man das Ziel in die Gabel, d. h. man lernt die Grenzen kennen, zwischen welchen die richtige Aufsatzstellung liegt,

---

* Solche Geller an der Krone der feindlichen Brustwehre sind nur dann von Vortheil, wenn die feindlichen Geschütze über Bank feuern, wobei die Sprengstücke der an der Krone explodirenden Zündergranate den feindlichen Geschützbedienungen gefährlich werden; in einem solchen Falle wird man aber in erster Linie Shrapnels anwenden, ausser es würde die Entfernung des feindlichen Werkes die wirksame Shrapneldistanz (ungefähr 2000 $^m/$) übersteigen.

** Nur im stark coupirten Terrain, welches die Beobachtung des Aufschlages erschwert, empfiehlt sich das Einschiessen mit Shrapnels, wobei Sprengintervall und Sprenghöhe beobachtet werden und die Aenderung der Tempirung mit jener des Aufsatzes Hand in Hand gehen muss.

und kann auch nach dem beobachteten Aufschlage des zweiten Schusses besser beurtheilen, um wie viel der Aufsatz corrigirt werden muss. Ist man mit dem dritten Schusse dem Ziele nahe gekommen, so müssen mit derselben Aufsatzstellung noch weitere zwei Schüsse abgegeben werden, um den diesem Aufsatze zukommenden mittleren Treffpunkt mit genügender Genauigkeit zu constatiren und auf Grund der Abweichung desselben vom Zielpunkte die letzte Correctur des Aufsatzes vornehmen zu können, deren Genauigkeit durch einige weitere Schüsse geprüft wird.

Nachdem die Zündergranaten beim ersten Aufschlage am Boden explodiren, daher erst von hier an wirksam sind, so muss getrachtet werden, den Aufschlag stets vor die feindliche Aufstellung zu bringen, daher eigentlich zu kurz zu schiessen. Beim Schiessen der Kartätschen ist die kürzere Aufsatzeintheilung (für ebenen Boden) nur dann anzuwenden, wenn der Boden das Gellen der Schrote begünstigt.

Während des Schiessens überhaupt muss die Wirkung der Schüsse unausgesetzt beobachtet werden, um allenfalls nothwendig werdende Correcturen des Aufsatzes und bei Shrapnels auch der Tempirung vornehmen zu können, jedoch darf zu diesen Correcturen erst dann geschritten werden, wenn sich die Wirkung bei einer grösseren Zahl von Schüssen ungenügend zeigt. Bezüglich der Correcturen beim Shrapnelschiessen ist zu beachten, dass im Wesentlichen das Sprengintervall von der Tempirung, die Sprenghöhe vom Aufsatze abhängt.

Berichtigungen.

Seite 25 ist in der Aufschrift *d)* zwischen »brisante« und »ballistische« ein Beistrich zu setzen.

»	32,	Zeile	15	von	unten:	$m = 4$ statt $^{m}/ = 4$.
»	83,	»	5	»	oben:	*(Fig. 17, a)* statt *(Fig. 16, a)*.
»	122,	»	14	»	»	$\frac{y}{R-x}$ statt $\frac{y}{Rx}$.
»	173,	»	7	»	unten:	b statt C.
»	174,	»	20	»	»	durchschnitten statt durchschritten.
»	207,	»	10	»	oben:	$w_1 = \sqrt{\frac{2GH_1}{1-\left(\frac{F_1}{T}\right)^2}}$ statt $w_1 = \sqrt{\frac{2GH_1}{1-\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2}}$
»	207,	»	15	»	»	F_1 statt E_1.
»	227,	»	5	»	»	$y = x\,tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\cdot\frac{e^{2a_2bx}-2a_2bx-1}{2a_2^2b^2x^2}$ statt $y = x\,tg\,\alpha - \frac{gx^2}{2V^2\cos^2\alpha}\cdot\frac{e^{2a_2bx}-2a_2bx-1}{2a_2^2b^2x}$
»	234,	»	16	»	unten:	$T' = 17\cdot7$ Sec. statt $47\cdot7$ Sec.
»	267,	»	12	»	oben,	ist das Zeichen $^{m}/$ nach der Zahl 23638500, ebenso
		»	11	»	»	das Zeichen $'$ nach der Zahl 4821480 zu streichen.
»	269,	»	19	»	»	$k' = 19046700$ statt $k' = 34980000$.





